

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Protección del sistema eléctrico de distribución y su
efecto en la calidad de producto del servicio de energía en
el alimentador A4502 de la unidad del valle del Mantaro**

Carlos Alberto Mayta Roque

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2019

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Víctor Fermín Segura Huanca

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Continental por ser mi alma máter y por acogirme durante mi formación profesional, a los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica, quienes me impartieron sus conocimientos, sus saberes y fueron capaces de orientarme tanto académica como personalmente. A todos ellos muchas gracias.

A mi asesor quien fue una pieza clave en el proceso de la culminación de la investigación, dado que sus pautas y orientaciones me sirvieron para ofrecer un trabajo que cumpla con los estándares de investigación.

A todas las personas, familiares, amigos y colegas que directa o indirectamente contribuyeron con la realización de la investigación, pues sus sugerencias y recomendaciones hicieron que este trabajo sea sofisticado y apto para su sustentación.

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mi familia, soporte de mi vida personal y profesional que ha contribuido desinteresadamente en hacer de mí una persona respetable y digna de servir a la sociedad.

ÍNDICE

PORTADA.....	i
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE	v
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.2. Formulación del problema	4
1.2. Objetivos	5
1.2.1. Objetivo general.....	5
1.2.2. Objetivos específicos.....	5
1.3. Justificación e importancia	5
1.3.1. Justificación práctica.....	5
1.3.2. Justificación teórica	6
1.3.3. Justificación metodológica.....	6

1.4. Hipótesis y descripción de las variables.....	7
1.4.1. Hipótesis general	7
1.4.2. Hipótesis específicas	7
1.4.3. Variables.....	7
1.4.4. Operacionalización de variables	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Antecedentes del problema.....	10
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	10
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	14
2.1.3. Antecedentes locales.....	19
2.2. Bases teóricas.....	19
2.2.1. Protección.....	19
2.2.2. Calidad de la energía eléctrica	41
2.3. Definición de términos básicos.....	67
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	69
3.1. Método y alcance de la investigación.....	69
3.2. Diseño de la investigación.....	69
3.3. Población y muestra.....	70
3.3.1. Población	70
3.3.2. Muestra.....	70
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	70

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	71
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	71
4.1.1. Descripción del Alimentador A4502.....	71
4.1.2. Coordinación de protección en la calidad de producto del servicio de energía en el Alimentador A4502	74
4.1.3. Fallas asociadas al Alimentador A4502.....	77
4.2. Propuesta de relé digital multifuncional para la protección del Alimentador A4502.....	86
4.2.1. Características del relé digital.....	86
4.2.2. Potencialidades del relé digital	86
4.2.3. Equipos de protección digitales	87
4.3. Pruebas de hipótesis.....	90
4.3.1. Hipótesis general	95
4.3.2. Hipótesis Específica 1	96
4.3.3. Hipótesis Específica 2	97
4.4. Discusión de resultados	99
CONCLUSIONES.....	101
RECOMENDACIONES	102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
ANEXOS	109

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables.....	9
Tabla 2: Fallas identificadas en el Alimentador A4502 de la SET Concepción	77
Tabla 3: Equipos para protección de subestaciones eléctricas	88
Tabla 4: Datos del Alimentador A4502 de la SET Concepción	91
Tabla 5: Prueba de normalidad de la variable protección del sistema y sus indicadores	93
Tabla 6: Prueba de normalidad de la variable calidad del producto del servicio eléctrico y sus indicadores	94
Tabla 7: Prueba de la hipótesis general mediante el estadístico Chi Cuadrado ..	96
Tabla 8: Prueba de la primera hipótesis específica mediante el estadístico Chi Cuadrado.....	97
Tabla 9: Prueba de la segunda hipótesis específica mediante el estadístico t de Student.....	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de protección.....	21
Figura 2. Protección del sistema de distribución.	25
Figura 3. Calidad de energía eléctrica.....	42
Figura 4. Supervisión y mitigación de calidad de servicio.	57
Figura 5. Diseño del Sistema eléctrico de distribución del Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro.	72
Figura 6. Diagrama del Alimentador A4502 dentro de la SET Concepción.....	73
Figura 7. Curva característica de los interruptores asociados (Relay31 y Relay35) al Alimentador A4502 de la SET Concepción.....	75
Figura 8. Curva característica de los interruptores asociados (Relay33) al Alimentador A4502 de la SET Concepción.	76

RESUMEN

La investigación evalúa el efecto en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía teniendo en cuenta diversos niveles de protección (de 0 a 2 reajustes) del sistema eléctrico de distribución en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro durante el año 2018. La investigación aplicó el método analítico y un diseño no experimental transversal explicativo dado que se acopio información correspondiente a la protección del sistema eléctrico y la calidad del producto del servicio eléctrico. La muestra estuvo compuesta por el Alimentador A4502 correspondiente a la subestación de distribución del Sistema Eléctrico del Valle de Mantaro cuya información fue obtenida en base a los 12 meses del año 2018. Para el desarrollo de la investigación se empleó la prueba Chi Cuadrado para verificar las hipótesis de estudio. Se concluye que la protección del sistema eléctrico de distribución afectó positivamente en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro toda vez que se aceptó la hipótesis de investigación. Asimismo, la protección del sistema ofrece ventajas como la seguridad, protección de equipos y selectividad. Además, se propone el uso de tecnología de relés digitales multifuncionales para mejorar la calidad del servicio eléctrico.

Palabras clave. Protección, sistema eléctrico, calidad del servicio eléctrico.

ABSTRACT

The research evaluates the effect on the quality of the product of the electric power service taking into account various levels of protection (from 0 to 2 readjustments) of the electrical distribution system in the A4502 Feeder at “Valle del Mantaro” Unit during the year 2018. The development of the research consisted in applying the analytical method and an explanatory transversal non-experimental design given that information corresponding to the protection of the electrical system and the quality of the electrical service. The sample was composed for the A4502 Feeder corresponding to the distribution substation of the “Valle del Mantaro” Electric System whose information was obtained based on the 12 months of 2018. For the investigation, the test for validating the hypothesis was the Chi-Squared. It is concluded that the protection of the electric distribution system positively affected the quality of the product of the electric power service in the A4502 Feeder at “Valle del Mantaro” Unit since the hypothesis test was proved. Also, system protection offers advantages such as security, equipment protection and selectivity.

Keywords. Protection, electrical system, quality of electric service.

INTRODUCCIÓN

El presente informe de investigación titulado “Protección del sistema eléctrico de distribución y su efecto en la calidad de producto del servicio de energía en el alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro” se elaboró siguiendo los objetivos trazados y luego de aplicar los conocimientos adquiridos según las normas vigentes establecidas por la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Continental.

En tiempos modernos, la energía eléctrica tiene un rol sumamente importante para que las actividades cotidianas se desarrollen correctamente. Esta investigación brinda una manera alterna para un mejor aprovechamiento de la energía, a la vez que se mantiene su continuidad y fluidez en el sistema eléctrico; debido a que se evidencian diversas interrupciones y fallas que se suscitan; de tal forma en que se puedan reducir las horas de interrupciones que el sistema presenta y frente a ello dar posibles soluciones para garantizar que el sistema sea de calidad.

Además, el sistema eléctrico de distribución es el encargado de proporcionar la energía directamente hacia los consumidores y es vital que este sistema se encuentre en óptimas condiciones para que el servicio que se esté brindando sea un producto de calidad en cuanto a fluidez y continuidad. Por tal motivo, su protección ante cualquier evento fortuito que atente contra su buen funcionamiento es de mucho cuidado, ya que representa una de las maneras de cómo garantizar que se brinde un producto de calidad en el servicio de energía.

Asimismo, el suministro de energía eléctrica en estudio lo conforma el alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro, este alimentador es uno de los encargados de dar el servicio de energía eléctrica directa hacia el consumidor,

e indirectamente se relaciona al desarrollo económico social, debido a que el producto eléctrico está presente en diversos campos como el industrial, empresarial, académico, comercial, agrícola, etc., Debido a distintos factores, como el crecimiento poblacional y económico, el uso de la energía eléctrica es mayor y, por ende, el garantizar su buena calidad se convierte en un reto igual de grande. Por ello, el proteger dicho sistema de distribución cobra suma importancia para mantener y asegurar la confiabilidad y la calidad de suministro para la sociedad.

Con el fin de tener un sistema confiable, seguro y conforme con las normas y exigencias de calidad de servicio es importante que se realicen acciones para asegurar la fluidez y continuidad del servicio eléctrico, para que también se obtengan respuestas inmediatas, seguras y óptimas frente a una falla o interrupción.

La presente investigación está formada por cuatro capítulos. En el capítulo I, se trata del planteamiento del problema, formulación del problema, problema general, específicos; objetivo general, específicos; hipótesis generales, específicas; justificación e importancia de la investigación, alcances de la investigación, limitaciones, descripción de variables. El capítulo II, se presentan los antecedentes del problema, antecedentes nacionales e internacionales, el marco y bases teóricas, aspectos generales del área de estudio, y definición de términos básicos. En el capítulo III, se explica la metodología de la investigación, con el tipo de investigación, nivel de investigación, método de la investigación, diseño de la investigación, población y muestra; técnicas e instrumentos de recolección de datos: técnicas, instrumentos y técnica de procesamiento y análisis de datos. En el

capítulo IV, se dan a conocer resultados y discusión; resultados del tratamiento y análisis de la información, contrastación de la hipótesis general y la prueba de hipótesis específicas y finalmente la discusión e interpretación de resultados. Finalmente, se dan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos que sirvieron para su complementación del objetivo del trabajo de investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

La energía eléctrica recorre un largo camino desde su generación hasta su consumo, en todo ese proceso se debe garantizar un suministro continuo y de calidad a los consumidores. El problema que se presenta es la imposibilidad técnica de evitar los fallos que se producen en la red, es por esto que las subestaciones cuentan con un sistema de protección, cuya función es minimizar los efectos derivados de dichas faltas que se presentan de manera imprevista y aleatoria (1).

Los equipos de distribución de potencia son susceptibles a daños involuntarios o fortuitos, mala operación y deterioro de los mismos. Esto hace necesario implantar un sistema capaz de detectar valores anormales de corriente, voltaje y frecuencia, es decir, un sistema de protección de redes. Por tanto, la protección por sobrecorriente es parte del sistema de protección de redes. Entonces, el sistema supervisa la corriente de línea de los alimentadores y al detectar corrientes de valores mucho mayores a la corriente normal de operación, abre el circuito con el fin de aislar y minimizar el área con problemas (2).

Un sistema de protección debe mantener el servicio a pesar de una falla permanente en una parte de la red. Eso implica que el sistema tenga la cualidad de seccionalización de la red ante fallas, y permita aislar el área con problemas. También, debe distinguir entre fallas temporales y permanentes, para así evitar una salida permanente de la red (o parte de ella) ante una falla temporal. Esto exige que el sistema de protección permita reconexiones. Finalmente, debe de facilitar la ubicación de una falla permanente cuando esta ocurra. Así se reduce el tiempo sin

servicio a los usuarios. Estas cualidades conducen mejorar el servicio de distribución haciéndolo más confiable ante posibles eventos que afecten la operación normal de la red (3).

Los transformadores deben ser protegidos de sobrecargas y de cortocircuitos. Muchos de los transformadores de alimentación de cargas urbanas están sometidos a un ciclo de carga breve de duración, esto puede significar una sobrecarga admisible. Las frecuentes sobrecargas del transformador son signo de que su potencia es insuficiente y debe ser cambiado, porque puede esperarse una pérdida de servicio en el momento de máxima potencia interrumpida (4).

Entonces, frente a un cortocircuito, las protecciones deben actuar en tiempo breve para limitar los daños. El problema de la falta de protecciones reside en que los usuarios se quedan sin servicio, por tanto, es necesario que esta acción sea relevante en el mantenimiento de las líneas de distribución, para reducir el tiempo de reposición al mínimo. Además, las líneas aéreas y cables, deben protegerse de sobrecargas y cortocircuitos, situaciones particularmente peligrosas para los cables aislados, ya que causan sobretensiones que reducen su vida. (5)

El Sistema Eléctrico de Valle del Mantaro está conformado por dos líneas de transmisión secundaria y nueve subestaciones de transmisión, las cuales están integradas por sistemas de potencia de alta tensión y media tensión (6). A partir de este sistema se puede distribuir la energía eléctrica a todos los hogares que componen el Valle del Mantaro. Por tanto, una falla en los alimentadores de las subestaciones podría afectar completamente en la continuidad del servicio en distintas zonas del Valle del Mantaro y por ende la calidad de la energía se vería afectada. Por ello, la opción de tomar protecciones eléctricas surge como una

estrategia preventiva, sin embargo, muchos eventos fortuitos pueden afectar el funcionamiento del sistema.

Durante el 2018, se han encontrado diversas fallas asociadas al Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro, lo que hace necesaria la actuación rápida de diversos componentes como los interruptores para evitar la intermitencia del servicio de energía. Las principales fallas encontradas son las siguientes:

- Interrupción del suministro eléctrico por desconexión del interruptor en 13.2kV, por desbalance de carga, por fusión de fusibles fases R y S del Secc. I404200, ubicado entrada a San Pedro de Saño, originado por fuertes vientos en la zona.
- Interrupción de suministro eléctrico por desconexión automática de interruptor en 13.2kV, debido a falla de sobrecorriente fase R en momentos de falla fuertes vientos y descargas atmosféricas por la zona.
- GR-110-2014: suministro, transporte, montaje electromecánico, pruebas, puesta en servicio de la rehabilitación de redes en MT y SED's de alimentadores A4502 y A4504 Eje: Matahuasi-Quebrada Honda.
- Interrupción de suministro eléctrico por desconexión del interruptor en 13.2 kV, actuando protección de sobrecorriente fase S a tierra, en la localidad de Hualhuas.
- Interrupción de suministro eléctrico por desconexión del interruptor en 13.2 kV, actuando protección de sobrecorriente fase R a tierra.
- Interrupción de suministro eléctrico por desconexión automática de interruptor en 13.2kV, debido a falla fase S a tierra ocasionado por descarga atmosférica en la zona.

- Interrupción de suministro eléctrico por desconexión automática del interruptor en 13.2kV debido a falla fase R a tierra, debido a maniobras de reposición de secc S/C en Av. Daniel Turín hacia San Pedro de Saños
- Interrupción del suministro de energía eléctrica por desconexión automática del interruptor, debido a falla fases R y T a tierra, por contacto de rama de árbol a las redes en la derivación a la localidad de Aco.

Es así que surge el interés por verificar la forma en como se viene realizando la protección del sistema eléctrico de distribución, de manera que el servicio de energía no se vea interrumpido y de la misma manera evaluar la calidad del servicio eléctrico dentro del Valle de Mantaro. Teniendo en cuenta que un estudio que englobe todo el sistema eléctrico resultaría ser muy complejo, solo se ha seleccionado el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro de manera que sea posible la ejecución de la investigación.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿De qué manera afecta la protección del sistema eléctrico de distribución en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro durante el 2018?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la reducción de fallos generados en los diversos niveles de protección (de 0 a 2 reajustes) del sistema eléctrico de distribución del Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro durante el 2018?
- ¿Cuál es la calidad de frecuencia del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro durante el 2018?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía teniendo en cuenta diversos niveles de protección (de 0 a 2 reajustes) del sistema eléctrico de distribución en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro durante el año 2018.

1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar la reducción de fallos generados diversos niveles de protección (de 0 a 2 reajustes) del sistema eléctrico de distribución en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro durante el año 2018.
- Analizar la calidad de frecuencia del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro durante el año 2018 de manera que no supere la tolerancia de las variaciones sostenidas de $\pm 0.6\%$.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación práctica

La investigación desarrollada tuvo su justificación práctica, toda vez que se analizó la capacidad que tiene la protección de los sistemas eléctricos en la calidad del producto de servicio de energía dentro de la Unidad Valle del Mantaro, por lo que es información relevante para Osinergmin y Electrocentro SA de manera que tengan previsto los sucesos ocasionados.

Asimismo, la investigación fue importante dado que los resultados mostraron de la efectividad del sistema de protección. Estos resultados podrán ser

empleados por el Electrocentro SA, quien es la entidad encargada de garantizar una adecuada calidad.

1.3.2. Justificación teórica

La investigación consideró teorías asociadas a la protección del sistema eléctrico de distribución, así como a la calidad del servicio eléctrico, dado que una correcta protección permite asegurar una calidad adecuada. Por tanto, esta investigación con los datos acopiados permite verificar la relación causal establecida por la teoría de manera que se contraste con la práctica.

1.3.3. Justificación metodológica

Metodológicamente se ha empleado un diseño no experimental para evaluar el cumplimiento de las políticas nacionales y mundiales sobre las normas de electricidad de manera que se alcance un sistema confiable y se reduzcan las interrupciones para otorgar una mejor calidad de suministro y producción de energía eléctrica. No obstante, para alcanzar los resultados se ha trabajado solo con el alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro debido a la restricción de información.

1.4. Hipótesis y descripción de las variables

1.4.1. Hipótesis general

La protección del sistema eléctrico de distribución afecta positivamente en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro durante el 2018.

1.4.2. Hipótesis específicas

- La protección del sistema eléctrico de distribución del Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro reduce la cantidad de fallos durante el 2018.
- La calidad de frecuencia del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro se ha mantenido en el estándar de tolerancia de las variaciones sostenidas de $\pm 0.6\%$ establecido por el Organismo Supervisor de Energía y Minas (Osinergmin) durante el 2018.

1.4.3. Variables

Las variables representan un grupo de cualidades, características y propiedades observables de la unidad de análisis (7). Por la naturaleza correlacional de la investigación, se identificaron dos variables:

Variable independiente. Esta es considerada como la causa, o la posible causa, que tiene efectos sobre otra variable, dichas causas pueden ser un hecho, una situación, un aspecto, etc. (8). En el estudio la variable independiente viene a ser:

- Vi: Protección del sistema eléctrico de distribución

Variable dependiente. Bernal (8) sostuvo que la variable dependiente viene a ser el efecto, producto o resultado causado por la acción de la variable independiente. La variable dependiente del trabajo de investigación es la siguiente:

- Vd: Calidad del producto del servicio eléctrico de energía.

1.4.4. Operacionalización de variables

Operacionalizar variables consiste en exponer los objetivos de las variables que se estudian, cada uno con su respectiva clasificación, definición, categoría o clase (9).

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensión de variables	Indicadores
Protección del sistema de distribución Variable independiente	La protección del sistema eléctrico garantiza la estabilidad del sistema y evitar condiciones de operación dañinas. Si se detecta una condición anormal del sistema, es importante que se tome una acción correctiva lo más rápido posible (10)	La protección del sistema eléctrico tiene el objetivo de asegurar la estabilidad del sistema eléctrico	Graduación de tiempos y magnitudes medidas para la correcta y oportuna actuación de todas las protecciones (Hs, s, min, ms, etc.)	Nivel de protección
			Operación (selectividad) para distintas condiciones de falla (Hs, s, min, ms, etc.)	Selectividad de equipo
			Medición de los parámetros de interrupción de los tiempos (Hs, s, min, etc.).	Tiempo de actuación del dispositivo.
				Graduación de tiempos.
Calidad del producto del servicio eléctrico de energía Variable dependiente	La calidad de energía eléctrica se refiere al mantenimiento de la forma de onda sinusoidal cerca de tensiones de la barra de distribución de energía y corrientes con una magnitud nominal y frecuencia. Por lo tanto, la calidad se utiliza a menudo para expresar calidad de la tensión, calidad actual, la fiabilidad del servicio, la calidad de la fuente de alimentación, entre otros (11)	La calidad de la energía es la alimentación y puesta de tierra de equipos electrónicos sensibles en una manera que sea adecuado para su operación.	Conjunto de parámetros físicos y técnicos que debe cumplir el producto electricidad (V, KV, etc.)	Nivel de seguridad
			La calidad de servicio que permite calificar el suministro (Hs, s, min, ms, etc.)	Tiempo promedio entre fallas
			La duración de las interrupciones de suministro (Hs, s, min, ms, etc.)	Duración de interrupciones
			La estabilidad y variación de la frecuencia en la hora de toma de carga y reposición (60 Hz)	Continuidad de la energía

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

Cuevas y Hernández, en su investigación titulada “Coordinación de protecciones en un sistema de distribución”, desarrollada en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Unidad Profesional Adolfo López Mateos, del Instituto Politécnico Nacional (12) dio a conocer los métodos en una red de distribución que reduzca los perjuicios presentes en el sistema, correlación y ajuste de protecciones, elementos que permiten deducir y elegir el tipo de sistema. Esto juega un papel muy importante al momento de ejecutar un estudio, pues permite la identificación de elementos de un sistema electrónico de distribución. La principal tarea de las compañías suministradoras es contar con un servicio constante de suministro eléctrico, predecir con presión las fallas para evitar la distribución de energía, sin embargo, el papel que desempeñan las protecciones eléctricas es regular el sistema y operar en casi un disturbio. La investigación concluyó en que la interrupción del funcionamiento de un sistema eléctrico, las protecciones eléctricas son el método aplicado para descarte de desperfectos en el menor tiempo posible, esto permitirá identificar los patrones electrónicos que facilitaran seleccionar un buen dispositivo de protección.

Díaz, en su investigación titulada “Coordinación de los sistemas de protección asociados a la subestación eléctrica 115 kV de CVG Alcasa”, presentada a la Universidad Simón de Bolívar (13), realizó una evaluación a la subestación eléctrica 115kV Línea III de reducción, se centró en los procesos relacionados a la protección, con la finalidad de constatar el buen funcionamiento de los sistemas.

Para esto, se necesitó simular el sistema eléctrico con el uso de un *software* especializado. En los resultados se dio a conocer que la capacidad de interferencia del interruptor termomagnético empleado es de 50 kA, lo que corresponde a un 154.58% de sobredimensionamiento, considerando así al dispositivo como confiable; el fusible permite la circulación de todas las corrientes normales de energización del transformador, el interruptor termomagnético cuenta con una tolerancia de la curva eléctrica del ITM del 10.00% eléctrico, por lo tanto, son confiables respecto a los máximos niveles de cortocircuito que puedan ocurrir, que no necesitan realizar cambios al respecto.

Doñez, desarrolló la investigación titulada “Selección y análisis de equipo de protección en los sistemas de distribución (23 kV) para proporcionar la acción correcta a la naturaleza de las fallas”, presentada a la Facultad de Ingeniería, de la “Universidad Autónoma de México” (14), cuyo objetivo fue poder incluir aquellas guías y/o recomendaciones similares que se hayan desarrollado o vayan a desarrollarse en el futuro en las diferentes divisiones. En los resultados se reveló que la energía eléctrica por hoy es vital para las actividades básicas del ser humano, por lo que es importante el establecimiento de estrategias operativas para hacer uso eficiente de la energía y obtener ahorros económicos y generar más ventas, así como las condiciones requeridas necesarias bajo norma, estas condiciones son frecuencia y tensión al mismo tiempo que la energía se encuentre disponible en el instante que lo requiera nuestro cliente. Concluyó que para la comercialización de la energía los sistemas de distribución son considerados como parte esencial; por ello, es fundamental realizar la ejecución de una adecuada

planeación y diseño ante interrupciones ocasionadas por variaciones aleatorias de las interferencias causadas por fallas naturales o del personal.

Muñoz, realizó la investigación titulada “Análisis de suministro eléctrico, mejoras de los índice y niveles de calidad en la distribución de energía eléctrica”, presentada a la Universidad Miguel Hernández (15), su objetivo fue proteger el trabajo efectivo en los sistemas energéticos mediante la transparencia y objetividad de su ejecución. Donde interviene la CNMC, organismo consultivo de los sectores autónomos, la administración del Estado. A partir de ello se deduce el conocimiento claro de retribución de la capacidad instala mediante la inversión por parata de la compañía eléctrica. Este sistema empleado por la CNMC, a largo plazo ocasionaría que las pequeñas compañías eléctricas que poseen constancias de inscripción en Minetur fueran vendidas o pierdan su condición de empresa en marcha especialmente por falta de capital, consecuencia de la baja obtención de ganancias por parte del sistema, el factor detonante no fue el precio porque se basaba de acorde al mercado, sino fue por no considerar las zonas A, B y C y las restricciones sujetas a una línea de alta tensión o costes sobredimensionados de las expropiaciones que se daban eventualmente.

Barrantes, en su investigación titulada “Diseño del sistema de Protección y control de subestaciones eléctricas”, presentado al Departamento de Ingeniería Eléctrica”, de la Universidad Carlos III De Madrid (16), tuvo como objetivo realizar una elaboración basada en el caso de estudio S.E. La Cereal en España un sistema de seguimiento y protección a las subestaciones eléctricas. La energía eléctrica atraviesa un largo recorrido iniciando en la generación y culminando con el consumo; por ello es necesario que durante el suministro se debe garantizar una

distribución sin interrupción y de calidad a los consumidores. La mayor dificultad enfrentada es la deficiencia técnica de evitar desperfectos producidos en la red, para reducir este problema las subestaciones tienen un mecanismo de protección cuya función es reducir los efectos ocasionados por las imperfecciones que son suscitadas de manera fortuita. Finalmente, concluye en que la elaboración del sistema eléctrico de potencia garantiza la distribución continua de la energía dentro de la jurisdicción, aprovechando el bajo costo al 100% los recursos energéticos y principalmente mantener una óptima calidad.

Torres, Torres, y Torres Prieto elaboraron el artículo con nombre “Estrategias efectivas para mejorar la calidad del servicio de energía eléctrica de un sistema de distribución eléctrico” para la revista científica Yanacha (4), con el fin de destacar las estrategias utilizadas por una empresa distribuidora de energía eléctrica, para mejorar continuamente el nivel de calidad de energía entregada al usuario final. Cada estrategia depende de la realidad en la concesión de la distribuidora; por tal motivo se presentan las características del sistema, así como las diferentes problemáticas con sus respectivas soluciones; de ser el caso con su respectivo costo monetario, para finalmente mostrar los logros obtenidos en los indicadores de la calidad del servicio denominados Frecuencia Media de Interrupción y Tiempo Total de Interrupción. Los métodos y materiales utilizados siguieron una estrategia guiada en pasos, como elaborar un mantenimiento del sistema de distribución, planificar, invertir en personal calificado, ejecutar limpieza de aparatos y dar el estudio de implementación. Los resultados mostraron que el número de interrupciones se redujo en 80%, y los indicadores de confiabilidad aumentaron de 25% a 39%, además, y en general la frecuencia media de interrupciones se redujo

en 25% y finalmente, se concluyó que los indicadores se relacionan con la inversión y el gasto para obtener una mejora en la calidad de servicio.

Segovia desarrolló la “Coordinación de protecciones en el alimentador de distribución cerro 8”, presentado en la “Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Centro de Investigación y Pruebas Electroenergéticas” para obtener el título de Ingeniero Eléctrico (17), con el propósito de disminuir la frecuencia media de las interrupciones del alimentador CERRO 8. El estudio realizó el ajuste y coordinación de protecciones de sobrecorriente, para lo cual fue necesario realizar el cálculo de los parámetros de línea en todos los nodos del alimentador utilizando el programa PARLINC, una vez obtenidos estos datos se realizó un estudio de niveles de cortocircuito. Se seleccionaron las protecciones de fase y tierra tomando en consideración el porcentaje histórico de fallas no permanentes en el alimentador, la localización de los consumidores de primera categoría y la localización de líneas soterradas, todas estas protecciones fueron ajustadas, coordinadas y se verificó sensibilidad, por último, se realizó la comprobación del sistema de protecciones con las curvas de daño de conductores y transformadores.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Jara, en su investigación titulada “Optimización de la protección eléctrica de la subestación Tierra Colorada”, presentada a la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de Piura (18), dio a conocer mediante el estudio de las redes de distribución en 10.5kV y el sistema de subtransmisión en 60kV de Tierra Colorada una alternativa que permita la mejora y mantenimiento óptimo del sistema eléctrico. Tomando en cuenta la evaluación se identificó la necesidad de contar con la

protección para la reducción de los desperfectos en tierra, los sistemas con neutro aislado. Por tanto, se presentó como una solución la inserción de un transformador de aterramiento para incrementar la posibilidad de detección de desperfectos a tierra. Concluyendo en que es necesario la incorporación de los ajustes de protección mediante la inserción del transformador; por otro aspecto la necesidad de incrementar el umbral de corriente instantánea en las protecciones presentes en los alimentadores de media tensión, evitando la desconexión del alimentador para las imperfecciones que están lejos de la subestación y así efectivizar la protección ubicada aguas abajo.

Maque, en su trabajo de investigación titulado “Análisis, Diagnóstico y propuesta de mejora de calidad de servicio a causa de fallas imprevistas en el suministro eléctrico en el Distrito de Macusani-Carabaya”, presentada a la Facultad de Ingeniería Mecánica eléctrica, de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno (19), Tuvo como objetivo examinar, evaluar y plantear la alternativa de mejora de la calidad de servicio a causa de dificultades eventuales presentes durante la distribución de la energía eléctrica. Mediante los resultados obtenidos se vio por conveniente reconocer las imperfecciones con mayor incidencia generadas principalmente en la línea de transmisión LT-9002 Ajoyani-Macusani, a pesar de los cambios climáticos, imperfectos de interconexión de alta tensión 60KV e imperfectos originados durante el mantenimiento. Concluyó con la propuesta para realizar en la terna una labor independiente en la línea primaria 22,9 KV; siguiendo el proceso planteado de reforzar a dos ternas en línea de San Gabán-Macusani en el décimo año, con la inserción del nuevo transformador de potencia 5/3/2MVA,

138/22.9/13.8 KV-San Gabán II y sistemas fotovoltaicos para los lugares alejados, además, de ello un cambio absoluto de las redes primarias, secundarias.

Morales desarrolló el documento titulado “Protecciones proyecto Chilca-Planicie-Carabayllo-Zapallal 220kv y 500kv: consideraciones para el ajuste de protecciones en sistemas en extra alta tensión a 500kv en el sistema eléctrico interconectado nacional”, para lograr el título de Ingeniero Electricista, concedido por la Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica” (20), tuvo por fin describir y resolver la problemática de elaborar el estudio de coordinación de protecciones para las primeras instalaciones de transmisión de energía eléctrica en Extra Alta Tensión que han sido puestas en servicio en el Perú, particularmente a la tensión de 500kV. La metodología utilizada para calcular los ajustes de las protecciones del proyecto responde a una serie de pasos establecidos y ordenados, del cual se llegó a la conclusión de la importancia de los sistemas de transmisión en EAT y que las normas de ajuste de protección que se utilizan en el país son aplicadas parcialmente. Además, que existe el requerimiento de hacer cumplir lo más estrictamente posible los criterios de protección para buscar la mayor seguridad y confiabilidad del sistema. Y finalmente, que los equipos que se diferencian en relación a la asociación de sus costos, brindan poca confiabilidad en su protección siempre y cuando se hace uso de esquemas convencionales, por lo cual se recomendó priorizar la protección a estos equipos brindándoles mayor importancia y redundancia, a la vez que se implementan esquemas especiales para su protección.

Roque realizó el trabajo titulado “Protección y coordinación del sistema eléctrico rural de media tensión en 22,9 KV, para mejorar la calidad del servicio de

energía eléctrica del distrito de Ichuña, provincia general Sánchez Cerro, región Moquegua 2016”, para lograr el título de Ingeniero Mecánico Eléctrico, otorgado por la Universidad José Carlos Mariátegui, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica (21), con el motivo de de optimizar la protección y coordinación del sistema eléctrico rural de media tensión en 22,9 kv, para mejorar la calidad del servicio de energía eléctrica del Distrito de Ichuña, Provincia General Sánchez Cerro, Región Moquegua en el 2016. Se realizó y evaluó los componentes como la coordinación mediante fusibles en la troncal para una mayor protección y coordinación usando herramientas adicionales como el uso de un software, habiendo utilizado el programa Neplan V.5.5.5, para la simulación correspondiente en la troncal de la línea de media tensión Ubinas-Ichuña. La investigación fue de tipo tecnológica y diseño no experimental. Los resultados indicaron que la tasa de fallas de la línea de transmisión logró disminuirse en promedio 95 %, de un valor promedio de 16,42 Salidas/Año-L1014 a un valor promedio de 0,79 Salidas/Año-L1014 y, en relación con el tiempo de indisponibilidad de la línea de transmisión, con el valor de 0,79 Salidas/Año-L1014, se tiene estadísticamente que, esta interrupción hará indisponible a la línea por un tiempo máximo de 0,54 horas. También, el número de impactos directos por descargas atmosféricas se redujo de 23 a 5 en un período anual. El porcentaje de costos por compensación produjo una importante disminución del 64 % a un 36 % con la implementación del método de apantallamiento de Burgsdorf-Kostenko. Finalmente, se concluyó que se logró optimizar la protección del sistema eléctrico rural.

Sotomayor desarrolló el “Análisis del sistema eléctrico, 380/220v, para mejorar la calidad y eficiencia en el local del Senati-Trujillo”, presentado a la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Académica Profesional de Mecánica Eléctrica (22) con la finalidad de realizar el análisis de calidad de energía, compensación de energía reactiva y la evaluación del plan tarifario de las instalaciones eléctricas de la institución educativa Senati (Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajos Industrial) ubicado en la ciudad de Trujillo. La investigación fue cuasi experimental. El estudio se desarrolló básicamente con equipos de medición como: Analizador de calidad de energía Fluke 1743, osciloscopio tektronixs TDS1102B y cámara termográfica DT- 9875. La compensación se desarrolló mediante cálculos utilizando la data de las mediciones, la evaluación de la facturación se desarrolló de acuerdo a la Guía de orientación para la selección de la tarifa eléctrica para usuarios en media tensión regulada por Osinerg. Los resultados señalaron que la potencia contratada llega a un máximo de 30% utilizado. Los parámetros evaluados en carga media dieron como resultado desbalances de corriente produciendo caídas de tensión y distorsiones en la salida del transformador. Los valores promedio de distorsión THDV superan el %8, mientras que los THDI superan el 20% lo cual es un indicador de mala calidad de suministro y cuando no hay consumo no debería haber distorsión, pero se observa valores de 3 a 6% de distorsión total. El nivel de tensión cumple con lo establecido en la norma está por debajo de 5% alcanzando como máximo un 2%, la variación de frecuencia súbdita (VSF) no superan el 0.12%, lo cual indica que también cumple con la norma y los flicker no sobrepasan no superan el 0.25% siendo como valor máximo a superar 1%. Se concluyó que el consumo equilibrado de corriente

mejorara la calidad de energía y la compensación implementada, optimizada aumentara la eficiencia.

2.1.3. Antecedentes locales

Socualaya, en su investigación titulada “Influencia de la coordinación de protección en la calidad de suministro del sistema eléctrico del alimentador 7004 de la Minera IRL Chumpe IRL-2017”, presentada a la Facultad de Ingeniería Mecánica, de la Universidad Continental, estableció mediante el estudio del Sistema Eléctrico del Alimentador 7004 de la Minera I.R.L la incidencia de la Coordinación de Protección en la Calidad de Suministro. Para lo cual se hizo necesario el uso de las diferentes técnicas de análisis y fórmulas que permitieron deducir la viabilidad de la tesis frente a diferentes eventos que se suscitan en la Subestación. Obtuvo como resultado la disminución y selectividad del equipo frente a las interrupciones que se dieron en el sistema, así logrando suministrar la energía a la Minera IRL para su continuidad en la extracción y procesamiento del mineral; para ello se realizó el análisis de los diferentes tipos de interrupciones suscitados en el sistema y frente a ello el método más conveniente fue el programa ETAP 12.6 para su análisis respectivo para mejorar la protección y la operación de los alimentadores para cada área de la minera y su rendimiento eficiente (23).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Protección

La protección del sistema eléctrico es una parte importante de la ingeniería eléctrica. El propósito de los relés de protección es garantizar la estabilidad del sistema y evitar condiciones de operación dañinas. Si un relé o fusible detecta una condición anormal del sistema, es importante que se tome una acción correctiva lo

más rápido posible. Sin embargo, es preferible que cause un mínimo de área de oscurecimiento. A niveles más bajos del sistema, donde el costo y las consecuencias de una línea desconectada son menores, generalmente son dispositivos de protección más baratos. Una lista de los dispositivos disponibles para la protección de líneas eléctricas se muestra en la lista a continuación en costo y complejidad ascendentes (10):

- Fusibles
- Seccionadores, reconectores.
- Sobre intensidad instantánea
- Inverso, retardo de tiempo, sobrecorriente
- Sobrecorriente direccional
- Distancia
- Piloto

Se presentará a continuación los dispositivos más comunes y el equipo necesario:

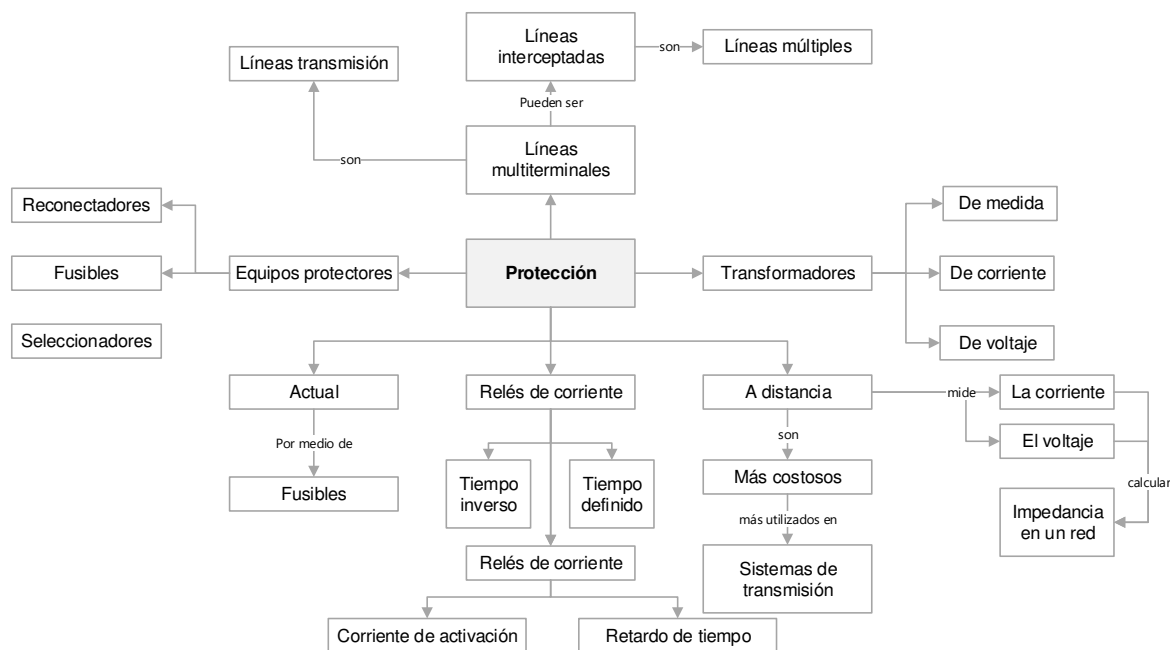


Figura 1. Sistema de protección.

2.2.1.1. Transformadores de medida

Los transformadores de medida se utilizan comúnmente para fines de medición y retransmisión, y para proporcionar aislamiento galvánico entre relés o dispositivos de medida.

2.2.1.2. Transformadores de corriente

Los transformadores de corriente (CT) son transformadores de un solo núcleo que, en principio, son como un transformador de potencia monofásico. Para garantizar la capacidad de cambio, hay valores estándar para la corriente del lado secundario. El más común es el transformador del lado secundario 5^a. También se usa un secundario de 1A.

2.2.1.3. Transformadores de voltaje

Los transformadores de tensión son normales y están conectados a la línea, con una tensión nominal del lado secundario de 120 V si están conectados fase-fase, y con una tensión de 69,5 V si están conectados fase-tierra. El error de un

transformador de voltaje es despreciable para todo el rango de operación (de 0-110%). Asimismo, los transformadores de voltaje son equipos costosos, especialmente para voltajes más altos y, por lo tanto, son más comunes en sistemas de bajo, medio y alto voltaje (hasta 345kV). Por encima de 345kV los transformadores de voltaje de condensador de acoplamiento se utilizan comúnmente, esto no está dentro del alcance de la presente tesis y no se tratará más.

2.2.1.4. Sobre la protección actual

La protección contra sobrecorriente viene en muchas formas, sus diseños varían, pero la funcionalidad se logra de la misma manera. Se construyen a partir de un elemento fusible que, durante la sobrecarga, se calentará y fundirá. La acción del percutor causada por la fusión del fusible activará el funcionamiento del equipo de conmutación conectado. Asimismo, los fusibles con los delanteros se pueden utilizar en la mayoría de los casos. Además, cuando no hay ningún dispositivo de conmutación conectado, en este caso, el único propósito del delantero es dar una confirmación visual de un fusible fundido.

Los sistemas de distribución generalmente funcionan como radiales, que normalmente se divide en redes principales y laterales. Las líneas principales son la columna vertebral de la distribución radial, a menudo es una línea con una dimensión más grande que los laterales. En cambio, los laterales son bifurcaciones de la red eléctrica o es una continuación de la misma con una dimensión inferior. Hay diferentes maneras de proteger la red eléctrica con los laterales conectados, un método común es tener un interruptor automático y algunos seccionadores en toda la longitud de la red eléctrica y los fusibles de los transformadores.

Otro método similar es cuando se agregan fusibles en cada lateral, lo que da una desconexión de la fase con falla uno en el lateral por fusión del fusible. Esto puede llevar a un escenario operativo en el que se excluye una fase de la operación, lo que dará lugar a problemas adicionales para los consumidores en el lateral que obtendrán el voltaje total del sistema en dos fases y posiblemente el potencial de tierra en la tercera fase (24).

2.2.1.5. Sobre relés de corriente

Los relés de retardo de tiempo pueden tener una característica de tiempo inverso o una característica de tiempo definido. El relé de tiempo inverso tendrá una característica de tiempo-corriente que es similar en forma, no necesariamente en magnitud. Hay dos configuraciones para los relés de corriente dependientes del tiempo, la corriente de activación y el retardo de tiempo (10).

La corriente de activación debe configurarse de modo que la activación se encuentre entre la corriente de funcionamiento normal y la corriente de falla mínima, con algunos márgenes en ambas direcciones. La corriente de activación es la corriente más baja donde operará el relé. Si es posible, debe configurarse de modo que el relé sea una protección de respaldo para los equipos conectados directamente, como los transformadores.

El tiempo de retardo es el parámetro que determina si es un relé de tiempo inverso o un relé de tiempo definido. La característica de temporización se logra de diferentes maneras para diferentes tipos de relés. Los retrasos se utilizan para garantizar la coordinación entre los dispositivos de protección en la red.

2.2.1.6. Protección a distancia

Los relés de distancia están entre los esquemas de protección más costosos, son bastante complejos en comparación con los relés de sobrecorriente. En el sistema de distribución, se tiende a mantener las cosas fáciles ya a un bajo costo. Los relés de distancia son más comunes en el sistema de transmisión. Un relé de distancia mide la corriente y el voltaje para calcular la impedancia en una red, por lo que también se conoce como relé de impedancia. La funcionalidad se garantiza mediante el establecimiento de zonas de umbral de impedancia. Si la impedancia aparente está por debajo de este umbral, el relé desconecta la línea. Las formas de las zonas pueden ser circulares, cuadráticas, poligonales, etc. (10)

2.2.1.7. Líneas multiterminales

Los límites de distancia se usan para proteger las líneas de transmisión que van de un terminal a otro. En algunos casos, las líneas se interceptarán o se mantendrán dentro de los terminales, esto se llama una línea de múltiples terminales. El grifo a menudo se construye como una adición a las líneas existentes, pero conduce a la protección del segmento de línea.

2.2.1.8. Protección del sistema de distribución

La mayoría de los sistemas de distribución están diseñados para suministrar energía a los consumidores a lo largo de la distribución radial. La introducción de la generación en este sistema reducirá el flujo de carga del sistema de transmisión o, en muchos casos, revertirá el flujo de carga (25). Esto puede llevar a grandes problemas cuando se trata de sistemas de protección. El sistema de protección depende en gran medida de los niveles de corriente y, a veces, del voltaje en algunos puntos de la red. Al introducir unidades de generación, los parámetros del

sistema se manipulan, esto también es cierto en condiciones de falla. Las unidades de generación contribuirán a la corriente de falla, esto puede afectar la coordinación del fusible (26).

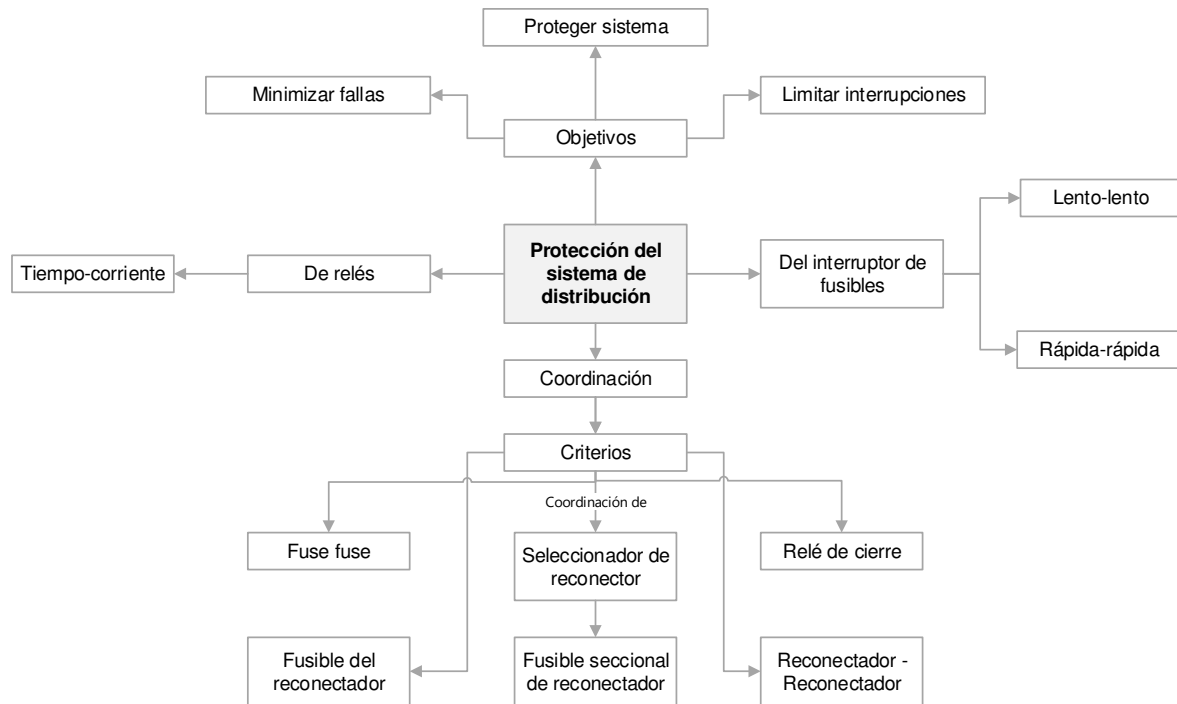


Figura 2. Protección del sistema de distribución.

2.2.1.9. Coordinación del interruptor de fusibles

Al coordinar fusibles y disyuntores reconectadores es importante garantizar un funcionamiento adecuado, especialmente cuando se trata de reenganchadores, ya que el 80% de todas las fallas en el sistema de distribución son temporales (27). Girgis y Brahma (28) mencionaron una descripción general de la coordinación de los dispositivos de sobrecorriente. Se muestra que la coordinación debe hacerse por característica de tiempo-corriente. El principio es garantizar que el reconector desconecte todas las fallas antes de la operación del fusible, es decir, antes de que la corriente alcance la fusión mínima. Luego, vuelva a conectar la red, esta vez con una característica más lenta en el reconector, para que los fusibles funcionen y

despejen las fallas potenciales. Dicha configuración asegurará que el fusible solo funcione para fallas permanentes, y cualquier falla temporal se eliminará sin la operación del fusible. Se recomienda que la secuencia de operación normal para un reconectador sea la siguiente: rápida-rápida y lento-lento. Dicha secuencia garantiza que después de dos intentos fallidos sin dañar los fusibles, una operación más lenta del interruptor intentará eliminar la falla mediante la operación del fusible. La coordinación no suele ser un problema en los sistemas de distribución radial.

2.2.1.10. Coordinación de relés

Los relés de sobrecorriente de coordinación son esencialmente los mismos que para los fusibles, la base es la característica de tiempo-corriente. Cuando no hay una generación distribuida presente, esta coordinación generalmente no es un problema, los relés están configurados para dispararse a la corriente de activación. La coordinación se asegura cambiando el tiempo de desconexión mediante un intervalo de tiempo de coordinación. Este intervalo depende de los errores en los transformadores de medida, los relés y los interruptores automáticos; el intervalo de tiempo generalmente se reduce para los relés posteriores (27).

Los relés de sobrecorriente son los más comúnmente usados en el sistema de distribución, pero también se pueden usar relés de impedancia. Para tal sistema de distribución, se deben hacer algunas adaptaciones. Por lo general, se opera radialmente con un interruptor y, por lo tanto, solo un relé. Si hay otros dispositivos de protección en el radial, como los relés de sobrecorriente o fusibles, esto debe tenerse en cuenta al configurar las zonas con demoras lo suficientemente largas como para asegurar la selectividad.

2.2.1.11. Impactos de generación distribuida

En la red de distribución con generación distribuida, la formación de islas puede causar problemas graves (24). En el caso de la acción del reenganchador se creará una isla temporal. Una unidad DG quedará fuera de fase y el reconectador se volverá a conectar fuera de fase, lo que causará daños en la unidad, la unidad de generación distribuida y el equipo de consumo. Se recomienda tener un bloqueo para volver a conectarse a una red energizada, o una comprobación de sincronización antes de volver a conectar la integración de la generación distribuida puede evitar que un reconectador elimine una falla temporal, ya que la generación distribuida continuará alimentando la falla en el período muerto. Asimismo, se recomienda que las unidades generación distribuida estén equipadas con relés de voltaje y frecuencia para evitar la formación de islas. Además, para evitar que una generación distribuida interconectada por el inversor mantenga la tensión y la frecuencia en modo isla, se debe sintonizar el inversor a una frecuencia ligeramente más alta o baja para disparar el relé de frecuencia (28).

El disparo simpático de un radial cuando ocurre una falla en un alimentador vecino no es infrecuente cuando la protección es realizada por relés de sobrecorriente no direccionales. Este problema se puede resolver utilizando un relé direccional (25).

2.2.1.12. Objetivos de protección del sistema de distribución.

Los principales objetivos de la protección del sistema de distribución son los siguientes:

- Minimizar la duración de un fallo.
- Minimizar el número de consumidores afectados por la falla.

Los objetivos secundarios de la protección del sistema de distribución son los siguientes:

- Eliminar los peligros de seguridad lo más rápido posible.
- Limitar las interrupciones del servicio al segmento más pequeño posible del sistema.
- Proteger los aparatos de los consumidores.
- Proteger el sistema de interrupciones y perturbaciones innecesarias del servicio.
- Desconectar líneas defectuosas, transformadores u otros aparatos.

Los sistemas de distribución aérea están sujetos a dos tipos de fallas eléctricas, esto es, fallas transitorias (o temporales) y fallas permanentes. Dependiendo de la naturaleza del sistema involucrado, aproximadamente el 75% y el 90% del número total de fallas son de naturaleza temporal. Por lo general, las fallas transitorias ocurren cuando los conductores de fase contactan eléctricamente con otros conductores de fase o se conectan a tierra momentáneamente, debido a árboles, aves u otros animales, vientos fuertes, rayos, *flashovers*, etc. Entonces, las fallas transitorias se eliminan mediante una interrupción del servicio durante un período de tiempo suficiente para extinguir el arco de potencia. En este caso, la duración de la falla se minimiza y se evita el soplado innecesario de fusibles mediante el disparo instantáneo o de alta velocidad y el recierre automático de un interruptor de circuito de potencia controlado por relé o el disparo y recierre automático de un reconectador de circuito (29).

Asimismo, las fallas permanentes son aquellas que requieren reparaciones por parte del equipo de reparación los siguientes términos:

- Reemplazo de conductores quemados, fusibles quemados o cualquier otro aparato dañado.
- Eliminando ramas de árboles de la línea.
- Recierre manual del interruptor de circuito o reconectar para restaurar el servicio

El número de clientes afectados por una falla se minimiza al seleccionar y ubicar adecuadamente el aparato de protección en el alimentador principal, en el punto de toma de cada rama y en ubicaciones críticas en los circuitos de la rama. Asimismo, las fallas permanentes se eliminan mediante recortes de fusibles instalados en los puntos de tomas laterales y laterales inferiores. Esta práctica limita el número de clientes afectados por una falla permanente y ayuda a localizar el punto de falla al reducir el área involucrada. En general, solo una parte del circuito de distribución que no está protegido por fusibles es la línea de conexión del alimentador principal y del alimentador. Además, la subestación está protegida contra fallas en el alimentador y las líneas de enlace por los interruptores de circuito y reconectores ubicados dentro de la subestación.

La mayoría de las fallas son permanentes en un sistema de distribución subterránea, lo que requiere un enfoque de protección diferente. Aunque el número de fallas que ocurren en un sistema subterráneo es relativamente mucho menor que en los sistemas generales, generalmente son permanentes y pueden afectar a un mayor número de clientes. De igual forma, las fallas que ocurren en los sistemas de distribución residencial subterránea se eliminan al soplar el fusible o los fusibles

de seccionamiento más cercanos. Mientras que las fallas que ocurren en el alimentador se eliminan mediante el disparo y el bloqueo del interruptor del alimentador.

2.2.1.13. Equipos de protección

Se utiliza una amplia variedad de equipos para proteger las redes de distribución. El tipo particular de protección utilizada depende de la protección del elemento del sistema y del nivel de voltaje del sistema y, aunque no existen estándares específicos para la protección general de las redes de distribución, se puede hacer una indicación general de cómo funcionan estos sistemas (30).

Los dispositivos más utilizados para la protección del sistema de distribución son los siguientes:

- a) Relés de sobrecorriente
- b) Reconectadores
- c) Seccionalizadores
- d) Fusibles

a) Reconectadores

Un reconectador es un dispositivo con la capacidad de detectar condiciones de sobrecorriente de fase y de fase a tierra, y puede interrumpir el circuito si la sobrecorriente persiste después de un tiempo predeterminado, y luego volver a cerrarse automáticamente para volver a energizar la línea. Si la falla que originó la operación aún existe, entonces el reconectador permanecerá abierto después de un número predeterminado de operaciones, aislando así la sección con falla del resto del sistema.

En un sistema de distribución aérea, entre el 75 y el 95 por ciento de las fallas son de carácter temporal y duran, a lo sumo, algunos ciclos o segundos. Por lo tanto, el reconectador, con su característica de apertura y cierre, evita que un circuito de distribución quede fuera de servicio por fallas temporales. Usualmente, los reconectores están diseñados para tener hasta tres operaciones de apertura y cierre y, después de estas, una operación de apertura final para bloquear la secuencia (30).

El reconectador debe funcionar cuando la corriente residual excede el valor de configuración, como ocurriría durante fallas a tierra. Asimismo, los reconectores se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Monofásico y trifásico;
- Mecanismos con funcionamiento hidráulico o electrónico;
- De vacío o SF6.

Los reconectores monofásicos se utilizan cuando la carga es predominantemente monofásica. En tal caso, cuando ocurre una falla monofásica, el reconectador debe desconectar permanentemente la fase defectuosa para que los suministros se mantengan en las otras fases. Además, los reconectores trifásicos se utilizan cuando es necesario desconectar las tres fases para evitar una carga desequilibrada en el sistema. Incluso, los reconectores con mecanismos de operación hidráulicos tienen una bobina de desconexión en serie con la línea. Cuando la corriente excede el valor de configuración, la bobina atrae un pistón que abre los contactos principales del reconectador e interrumpe el circuito. La característica de tiempo y la secuencia de operación del reconectador dependen del flujo de aceite en diferentes cámaras.

El tipo de mecanismo de control electrónico usualmente se ubica fuera del reconectador y recibe las señales actuales de un buje de tipo CT. Cuando la corriente supera el ajuste predeterminado, se inicia un disparo retardado que finalmente da como resultado que se transmita una señal de disparo al mecanismo de control del reconectador. El circuito de control determina la posterior apertura y cierre del mecanismo, dependiendo de su configuración (30).

Asimismo, los reconectadores con mecanismos de operación electrónicos utilizan un mecanismo de bobina o motor para cerrar los contactos. Los reconectadores de aceite utilizan un aceite para extinguir el arco y también para actuar como el aislamiento básico. El mismo aceite se puede utilizar en el mecanismo de control. Además, los reconectadores de vacío y SF6 tienen la ventaja de que requieren menos mantenimiento.

Los reconectadores se utilizan en los siguientes puntos de una red de distribución:

- En subestaciones, proporcionar protección primaria a un circuito.
- En los circuitos principales de alimentación, para permitir el seccionamiento de líneas largas y así evitar la pérdida de un circuito completo debido a una falla hacia el final del circuito
- En ramas o espuelas, para evitar el disparo del circuito principal debido a fallas en las espuelas.

Al instalar reconectadores es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- Tensión del sistema.
- Nivel de corto circuito.

- Máxima corriente de carga.
- Corriente mínima de cortocircuito dentro de la zona a proteger por el reconectador.
- Coordinación con otros mecanismos ubicados aguas arriba hacia la fuente y aguas abajo hacia la carga.
- Sensibilidad de funcionamiento para fallas a tierra.

La tensión nominal y la capacidad de cortocircuito del reconectador deben de ser iguales o superiores a los valores que existen en el punto de instalación. Los mismos criterios deben aplicarse a la capacidad de corriente del reconectador con respecto a la corriente de carga máxima que debe ser transportada por el circuito. También, es necesario asegurarse de que la corriente de falla en el extremo de la línea que se está protegiendo sea lo suficientemente alta como para causar el funcionamiento del reconectador.

b) Seccionalizadores

Un seccionador es un dispositivo que aísla automáticamente las secciones con fallas de un circuito de distribución una vez que un interruptor ascendente o el reconectador en sentido ascendente interrumpió la corriente de falla y, por lo general, se instala aguas abajo de un reconectador. Dado que los seccionadores no tienen capacidad para interrumpir la corriente de falla, deben usarse con un dispositivo de respaldo que tenga capacidad de interrupción de la corriente de falla. Asimismo, los seccionadores cuentan el número de operaciones del reconectador en condiciones de falla. Después de un número preseleccionado de aberturas de reenganchador, y mientras el reenganchador está abierto, el seccionador abre y aísla la sección defectuosa de la línea. Esto permite que el reconectador cierre y

reestablezca los suministros en aquellas áreas libres de fallas. Si el fallo es temporal, se restablece el mecanismo de funcionamiento del seccionador (31).

Los seccionadores se construyen en disposiciones monofásicas o trifásicas con mecanismos de operación hidráulicos o electrónicos. Por tanto, un seccionador no tiene una característica de operación de corriente/tiempo, y puede usarse entre dos dispositivos de protección cuyas curvas de operación están muy cerca y donde no es posible un paso adicional en la coordinación.

Además, los seccionadores con mecanismos de operación hidráulicos tienen una bobina de operación en serie con la línea pues cada vez que ocurre una sobrecorriente, la bobina acciona un pistón que activa un mecanismo de conteo cuando el circuito se abre y la corriente es cero por el desplazamiento de aceite a través de las cámaras del seccionador. Después de un número preestablecido de aberturas de circuito, los contactos del seccionador se abren mediante resortes pretensados.

Este tipo de seccionador puede cerrarse manualmente. Los seccionadores con mecanismos de operación electrónicos son más flexibles en su operación y más fáciles de configurar. La corriente de carga se mide por medio de CT y la corriente secundaria se alimenta a un circuito de control que cuenta el número de operaciones del reconectador o el interruptor asociado y luego envía una señal de disparo al mecanismo de apertura. Este tipo de seccionador está construido con cierre manual o motor (31).

Los siguientes factores deben considerarse al seleccionar un seccionador:

- Tensión del sistema.
- Máxima corriente de carga.

- Nivel máximo de cortocircuito.
- Coordinación con dispositivos de protección instalados en sentido ascendente y descendente.

El voltaje nominal y la corriente de un seccionador deben ser iguales o mayores que los valores máximos de voltaje o carga en el punto de instalación. La capacidad de cortocircuito (clasificación momentánea) de un seccionador debe ser igual o mayor que el nivel de falla en el punto de instalación. Por ello, no se debe permitir que el tiempo máximo de despeje del interruptor asociado exceda la clasificación de cortocircuito del seccionador. Además, los factores de coordinación que necesitan para ser tenidos en cuenta incluyen el ajuste de la corriente de arranque y el número de operaciones del interruptor asociado antes de abrir.

c) Fusibles

Un fusible es un dispositivo de protección de sobrecorriente, que posee un elemento que se calienta directamente por el paso de la corriente y se destruye cuando la corriente supera un valor predeterminado. Por tanto, un fusible seleccionado adecuadamente debería abrir el circuito mediante la destrucción del elemento fusible, así eliminar el arco establecido durante la destrucción del elemento y luego mantener las condiciones del circuito abiertas con voltaje nominal aplicado a sus terminales (es decir, sin arcos a través del elemento fusible (32).

La mayoría de los fusibles utilizados en los sistemas de distribución funcionan según el principio de expulsión, es decir, tienen un tubo para confinar el arco, con el interior cubierto con fibra desionizante y un elemento fusible. En presencia de una falla, la fibra interior se calienta cuando el elemento fusible se funde y produce gases desionizantes que se acumulan en el tubo. Asimismo, el

arco se comprime y se expulsa del tubo. Además, el escape de gas de los extremos del tubo hace que las partículas que sostienen el arco sean expulsadas. De esta manera, el arco se extingue cuando se alcanza el cero actual. La presencia de gases desionizantes y la turbulencia dentro del tubo aseguran que la corriente de falla no se restablezca después de que la corriente pase por el punto cero. Además, la zona de operación está limitada por dos factores, el límite inferior se basa en el tiempo mínimo requerido para la fusión del elemento (tiempo de fusión mínimo) con el límite superior determinado por el tiempo total máximo que toma el fusible para eliminar la falla.

También, hay una serie de normas para clasificar los fusibles de acuerdo con los voltajes nominales, las corrientes nominales, las características de tiempo/corriente, las características de fabricación y otras consideraciones.

Se requiere la siguiente información para seleccionar un fusible adecuado para usar en el sistema de distribución:

- Tensión y nivel de aislamiento.
- Tipo de sistema.
- Nivel máximo de cortocircuito.
- Carga de corriente

Los cuatro factores anteriores determinan las características de la corriente nominal del fusible, la tensión y la capacidad de cortocircuito.

2.2.1.14. Criterios para la coordinación de dispositivos de tiempo y corriente en sistemas de distribución

Se deben emplear los siguientes criterios básicos al coordinar los dispositivos de tiempo-corriente en los sistemas de distribución (33):

- La protección principal debe despejar un fallo permanente o temporal antes de que funcione la protección de respaldo o continuar funcionando hasta que se desconecte el circuito. Sin embargo, si la protección principal es un fusible y la protección de respaldo es un reconectador, normalmente es aceptable coordinar la curva de operación rápida o las curvas del reconectador para operar primero, seguido del fusible, si no se borra la falla.
- La pérdida de suministro causada por fallas permanentes debe restringirse a la parte más pequeña del sistema por el menor tiempo posible.

En las siguientes secciones se presentan los criterios y recomendaciones para la coordinación de diferentes dispositivos utilizados en los sistemas de distribución.

a) Coordinación Fuse Fuse

El criterio esencial al usar fusibles es que el tiempo máximo de separación para un fusible principal no debe exceder el 75% del tiempo de fusión mínimo del fusible de respaldo, para el mismo nivel actual. Esto asegura que el fusible principal interrumpe y elimina la falla antes de que el fusible de respaldo se vea afectado de alguna manera. El factor del 75% compensa los efectos tales como la corriente de carga y la temperatura ambiente, o la fatiga en el elemento fusible causada por el efecto de calentamiento de las corrientes de falla que han pasado por el fusible hasta una falla corriente abajo pero que no eran lo suficientemente grandes como para derretir la corriente.

La coordinación entre dos o más fusibles consecutivos se puede lograr dibujando sus características de tiempo y corriente, normalmente en papel de registro como en los relés de sobrecorriente.

b) Coordinación del fusible del reconectador

Los criterios para determinar la coordinación del fusible del restaurador dependen de las ubicaciones relativas de estos dispositivos, es decir, si el fusible está en el lado de la fuente y luego respalda la operación del restaurador que está en el lado de la carga, o viceversa (29).

c) Coordinación del reconectador-reconectador

La coordinación entre los reconectadores se obtiene seleccionando adecuadamente el ajuste de amperios de la bobina de disparo en los reenganchadores hidráulicos o de los recogidos en los reenganchadores electrónicos (33).

- Reconectadores hidráulicos. Los márgenes de coordinación con los reconectadores hidráulicos dependen del tipo de equipo utilizado. En los reconectadores pequeños, donde la bobina actual y su pistón producen la apertura de los contactos, se deben tener en cuenta los siguientes criterios:
 - La separación de las curvas en menos de dos ciclos siempre da como resultado una operación simultánea.
 - La separación de las curvas entre dos y 12 ciclos podría resultar en una operación simultánea.
 - La separación superior a 12 ciclos garantiza un funcionamiento no simultáneo.

Con los reconectores de gran capacidad, el pistón asociado con la bobina de corriente solo acciona el mecanismo de apertura. En tales casos los márgenes de coordinación son los siguientes:

- La separación de las curvas en menos de dos ciclos siempre da como resultado una operación simultánea;
- Una separación de más de ocho ciclos garantiza un funcionamiento no simultáneo.

El principio de coordinación entre dos unidades grandes en serie se basa en el tiempo de separación entre las características operativas, de la misma manera que para las unidades pequeñas (33).

- Reconectores controlados electrónicamente. Los reconectores adyacentes de este tipo pueden coordinarse más estrechamente, ya que no hay errores inherentes, como los que existen con los mecanismos electromecánicos (debido a exceso de velocidad, inercia, etc.). El reconector corriente abajo debe ser más rápido que el reenganchador corriente arriba, y el tiempo de despeje del reenganchador corriente abajo más su tolerancia debe ser menor que el tiempo de desplazo del reenganchador corriente arriba menos su tolerancia. Usualmente, la configuración del reconector en la subestación se utiliza para lograr al menos un reenganche rápido, para eliminar fallas temporales en la línea entre la subestación y el reenganchador de carga. Este último debe configurarse con la misma cantidad de operaciones rápidas, o un número mayor, que el reconector en la subestación. Cabe señalar que los criterios de

espaciado entre las características de tiempo / corriente de los reconectadores controlados electrónicamente son diferentes de los utilizados para los reconectadores controlados hidráulicamente (29).

d) Coordinación de relé de recierre

Deben tenerse en cuenta dos factores para la coordinación de estos dispositivos; el interruptor abre el circuito algunos ciclos después de que se dispare el relé asociado, y el relé tiene que integrar el tiempo libre del reconectador. El tiempo de reinicio del relé es normalmente largo y, si la corriente de falla se vuelve a aplicar antes de que el relé se haya reiniciado por completo, el relé se moverá hacia su punto de operación desde esta posición de reinicio parcial.

e) Coordinador de seccionador de reconectadores

Como los seccionadores no tienen características de operación de tiempo/corriente, su coordinación no requiere un análisis de estas curvas (29).

Los criterios de coordinación en este caso se basan en el número de operaciones del reconectador de respaldo. Estas operaciones pueden ser cualquier combinación de tomas rápidas o cronometradas como se mencionó anteriormente, por ejemplo, dos rápidas y dos retrasadas. El seccionador debe configurarse para un disparo menos que los del reconectador, por ejemplo, tres desconexiones en este caso. Si ocurre una falla permanente más allá del seccionador, este se abrirá y aislará la falla después de la tercera apertura del reconectador (29).

El reconectador luego volverá a energizar la sección para restaurar el circuito. Si los seccionadores adicionales se instalan en serie, el reconectador más lejano debe ajustarse para un número menor de conteos. Una falla más allá del

último seccionalizador da como resultado la operación del reconectador y el inicio de los contadores en todos los seccionadores.

f) Coordinador del fusible seccional del reconectador

Cada uno de los dispositivos debe ajustarse para coordinar con el reconectador. A su vez, la secuencia de operación del reconectador debe ajustarse para obtener la coordinación adecuada para las fallas más allá del fusible siguiendo los criterios ya mencionados.

2.2.2. Calidad de la energía eléctrica

2.2.2.1. Definición

La calidad de energía eléctrica (CEE) es un término que se refiere al mantenimiento de la forma de onda sinusoidal cerca de tensiones de la barra de distribución de energía y corrientes con una magnitud nominal y frecuencia. Por lo tanto, el CEE se utiliza a menudo para expresar calidad de la tensión, calidad actual, la fiabilidad del servicio, la calidad de la fuente de alimentación, entre otros (11).

La CEE ha capturado una creciente atención en la ingeniería de energía en los últimos años. En el estudio de CEE, se forman diferentes ramas que se ocupan de diferentes temas relacionados con la calidad de la energía. Asimismo, el estudio sobre la calidad de la energía eléctrica se puede dividir en etapas siguientes.

- Conceptos fundamentales
- Fuentes
- Efectos
- Modelización y Análisis
- Instrumentación
- Soluciones

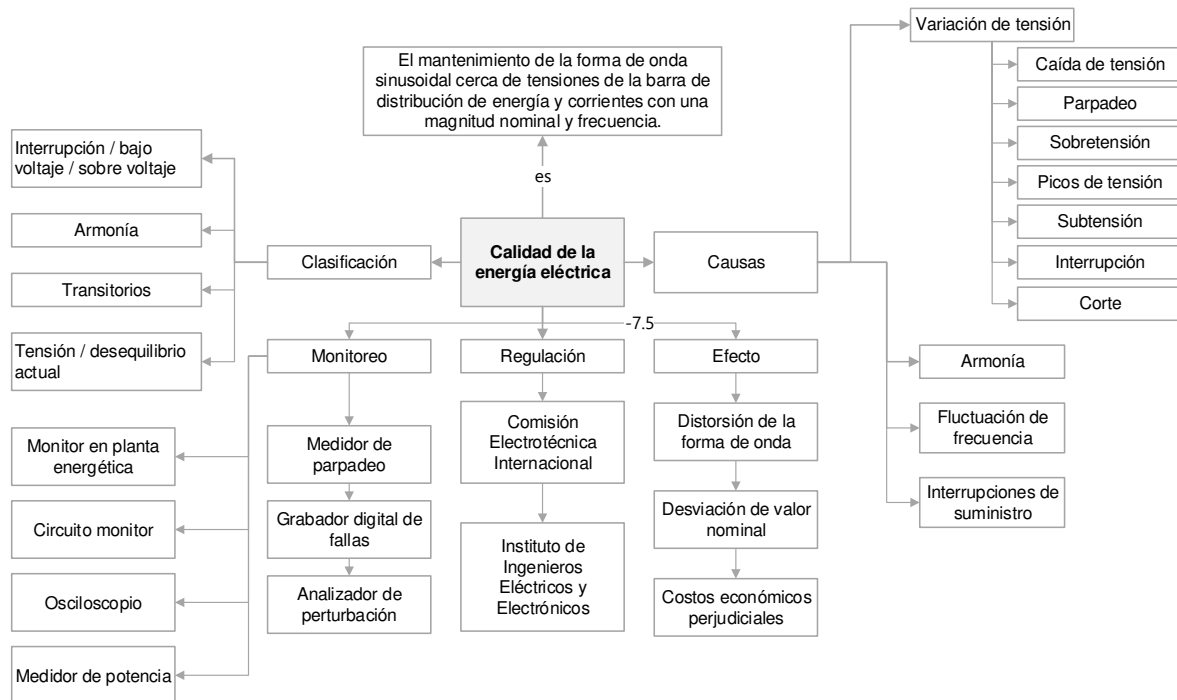


Figura 3. Calidad de energía eléctrica

2.2.2.2. Clasificación de Alteraciones del sistema de energía

Los problemas de calidad eléctrica se producen debido a diversos tipos de perturbaciones eléctricas. La mayoría de los trastornos CEE dependen de la amplitud o frecuencia o en frecuencia y amplitud. Sobre la base de la duración de existencia de perturbaciones CEE, los eventos pueden dividir en tipo corto, medio o largo. Los trastornos que causan la degradación de la calidad de energía procedentes de un sistema de energía y su clasificación incluyen principalmente en lo siguiente (11):

a) Interrupción / bajo voltaje / sobre voltaje

Estos son de tipo muy común, pues durante la interrupción de energía, el nivel de tensión, por ejemplo, de un autobús particular se pone a cero. Esta interrupción se puede producir por un periodo corto o medio o largo. Además,

el bajo voltaje y sobre la tensión con caída y elevación de niveles de voltaje de un bus particular con respecto a la tensión de bus estándar. A veces bajo y sobre tensiones de poco porcentaje es permisible; pero cuando cruzan el límite de nivel de tensión deseado, son tratados como perturbaciones. Tales perturbaciones están aumentando la cantidad de potencia reactiva dibujado o entregar por un sistema, problemas de aislamiento y estabilidad de la tensión.

b) Tensión / desequilibrio actual

El voltaje y desequilibrio de corriente pueden ocurrir debido al desequilibrio en gota en el sistema de generación o sistema de transmisión y la carga desequilibrada. Durante desequilibrio, los componentes de secuencia negativa aparecen. T dificulta el rendimiento del sistema puede cambiar la pérdida y en algunos casos puede obstaculizar la estabilidad de la tensión.

c) Armonía

Los armónicos son los componentes alternos que tienen frecuencias distintas de presente fundamental en señales de tensión y corriente. Hay varios para la generación de armónicos como no linealidad, el uso excesivo de dispositivos de conmutación a base de semiconductores, diferentes restricciones de diseño, etc. armónicos tienen efectos adversos en generación, transmisión y sistema de distribución, así como en los equipos de consumidor también. Los armónicos se clasifican como armónicos enteros, subarmónicos e interarmónicos. Los armónicos enteros tienen frecuencias que son múltiplos de la frecuencia fundamental, mientras que los subarmónicos tienen frecuencias que son menores que la frecuencia

fundamental y los inter armónicos tienen frecuencias que son mayores que las frecuencias fundamentales. Estos armónicos enteros e interarmónicos son muy comunes en el sistema de alimentación. Además, la aparición de subarmónicos es comparativamente menor que otros.

d) Transitorios

Puede generarse en el sistema en sí mismo o puede venir desde el otro sistema. Los transitorios se clasifican en dos categorías: transitoria normal y transitorios de corriente alterna. A su vez, los transitorios de corriente alterna se dividen en dos categorías: un solo ciclo y de múltiples ciclos.

2.2.2.3. Las causas de la mala calidad de energía

La complejidad de un sistema de energía para transmitir energía eléctrica desde el punto de generación lejos de los centros de carga hasta el punto de utilización en combinación con variaciones en la demanda, condiciones climáticas, la carga desequilibrada en fases transformador de distribución, así como el uso de equipos complejos y electrónicos por los consumidores y muchos otros factores permitirá a muchas oportunidades para la reducción de la calidad de la energía suministrada.

Un buen número de problemas hace que la calidad de energía sea pobre. Lo que suceda en los sistemas de energía que causan cambios con respecto a los valores nominales de tensión suministrada, que distorsionan la forma de onda de la senoide, que afectan a la estabilidad de frecuencia, hace que se degrade la calidad de energía. Algunos de ellos se enumeran a continuación.

a) Variación de tensión

Los problemas comunes de las tensiones tienen que ver con sus magnitudes. La variación de la tensión se produce en muchas formas y cada forma tiene terminología apropiada. En primer lugar, la variación de la tensión es la desviación de valor nominal de tensión que puede ser por una duración muy corta (milisegundos a segundos) o de larga duración (más de un minuto). En segundo lugar, la variación de la tensión de corta duración se produce principalmente como salsas o hundimientos, punto o de sobretensión, se hincha, mientras que la variación de tensión de larga duración se produce como parpadeo (fluctuación de la tensión), bajo tensión, sobretensión, y la interrupción. Esto provoca que la tensión de línea vaya más alta o más baja que la magnitud del voltaje nominal para cierto período. En tercer lugar, las variaciones de tensión se producen como resultado de fallos en la red de transmisión o distribución, conmutación de cargas capacitivas, problemas de carga.

i. Caída de tensión o un hundimiento

La caída de tensión es la reducción de la tensión nominal por un periodo corto de tiempo. Esta caída de tensión se produce cuando la tensión de alimentación cae dentro de 0,1 a 0,9 pu de la tensión nominal para el período de hasta un minuto. Es causada por fallo en la línea, a partir de motor eléctrico o de conmutación de carga pesada, carga excesiva, puesta en marcha de la turbina de viento etc. La fig. 1 muestra el voltaje de inmersión de encendido de gran carga, sobrecarga de circuito, fallo en la línea.

ii. Parpadeo

Flicker es el efecto de las variaciones aleatorias y repetitivas en voltaje entre 0,9-1,1 pu. Se da lugar a cambios visibles rápidos en brillo y oscurecimiento de la pantalla y la variación en la luminosidad producida por la bombilla que causa irritación a los ojos humanos. Es causada por el encendido y apagado de motor eléctrico, la carga pulsante, hornos de arco y equipo de soldadura.

iii. Los picos de tensión o de sobretensión

La sobretensión es similar a la subida de tensión. Esto ocurre cuando es muy alto incremento en la tensión nominal que por lo general es para una duración muy corta. Usualmente es causada por la caída de rayos, arcos eléctricos durante el proceso de conmutación en los interruptores y contactores, a la conmutación de sobretensión o transitoria.

iv. Sobretensión

La sobretensión es un aumento de tensión nominal superior a 1,1 pu para una larga duración de un minuto. Es el resultado de la desconexión de carga grande y del ajuste de la derivación incorrecta de transformadores, con el control inadecuado de tensión y del fallo en la línea.

v. Subtensión

La subtensión es la disminución de la tensión nominal a menos de 0,9 pu para una larga duración de un minuto. Las causas incluyen encendido de gran carga, sobrecarga de circuito y fallo en la línea.

vi. Interrupción

La interrupción de la energía se produce cuando el voltaje de la línea de suministro se reduce a menos de 0,1 pu durante un período de no más de 60 segundos. Entonces, se convierte en la interrupción sostenida si se trata de más de un minuto. Las causas incluyen fallo de aislamiento, conexión a tierra inadecuada/defectuoso, y el relámpago y el flameo aislante. Todo esto da lugar a la apertura automática y recierre de dispositivos de protección para aislar la sección defectuosa del sistema.

vii. Corte

El corte de energía es una condición de voltaje cero por un largo período. Es decir, en el apagón también se utiliza el fallo del equipo de potencia. Esto se da en el fallo de los equipos en la red del sistema eléctrico, tormentas, objetos (árboles, coches, etc.) que caen sobre las líneas eléctricas o postes, también ocurre esa interrupción de la energía por errores humanos, mal coordinación o el fracaso de los sistemas de protección.

b) Armonía

Los armónicos son voltajes de corriente alterna y corriente de múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de suministro. Por ejemplo, en un sistema de

50 Hz, un segundo armónico es $2 \times 50 = 100$ Hz, los terceros armónicos es 3×50 Hz = 150 Hz, mientras que el séptimo armónico es 350Hz. Los interarmónicos son frecuencias que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de energía.

Cuando se juntan los armónicos y la frecuencia fundamental se traduce en una sola forma de onda distorsionada. Normalmente, en un sistema trifásico, se produce solo armónico impar.

Asimismo, las frecuencias armónicas en los sistemas de potencia son causa frecuente de problemas de calidad eléctrica, ya que los armónicos distorsionan la forma de onda de corriente y el voltaje del suministro. Las causas de la armónica son generalmente cargas eléctricas no lineales que incluyen UPS, rectificador, inversor, variadores, horno de arco, soldadores, regulador de voltaje, y los convertidores de frecuencia (34).

Al mismo tiempo, el horno de arco eléctrico es el mayor culpable de la degradación de calidad de la energía en un sistema de distribución conectado, pues introduce armónicos, además propaga el parpadeo y causa desequilibrio en las corrientes y tensiones (35).

Asimismo, las cargas no lineales son armónicas que producen en un sistema de distribución la energía. Además, cuando se conecta a suministrar, sus cambios de impedancia con tensión suministrada y la corriente no sinusoidal, incluso si el suministro es sinusoidal. De igual forma, la corriente no sinusoidal tiene contenido de armónicos que interactúan con el sistema de distribución de energía para crear distorsión de la tensión en la red (34). Así que cualquiera otra carga conectada a la red de distribución se ve afectada por esta distorsión de la tensión.

c) La fluctuación de frecuencia

La variación de frecuencia o fluctuación es la desviación de frecuencia del sistema de alimentación de valor aceptable estándar nominal (por lo general 50 o 60 Hz). En cualquier momento, la generación de energía en el sistema de alimentación debe ser igual a la demanda de potencia, si hay más demanda que la generación la frecuencia tiende a bajar, pero si la demanda es menor que la generación, la frecuencia tiende a ir más alto. En un fallo en la línea de transmisión hay desconexión de carga grande, se apaga o va fuera del gran generador, también puede dar lugar a fluctuaciones de frecuencia. Además, las oscilaciones de frecuencia fuera de valor de tolerancia de $\pm 5\%$ no es saludable para el sistema eléctrico que puede llevar al colapso del sistema.

d) Las interrupciones de suministro

La inestabilidad de la fuente de alimentación o epileptica es la mayor preocupación socioeconómica en los países en desarrollo, de hecho, es el principal problema de calidad de energía en estos países. Esto es debido a la escasez aguda en la red para satisfacer la demanda de electricidad, lo que es ocasionado por la falta de una adecuada inversión en el sector energético. Además, del envejecimiento de las instalaciones de energía y la falta de mantenimiento de las existentes contribuyen en gran medida a los problemas de calidad de energía.

2.2.2.4. Efecto de la calidad del suministro eléctrico

El efecto de problema de la calidad de potencia es la distorsión en la forma de onda de voltaje del suministro de senoide, o la desviación de su valor nominal o un corte completo. Este problema de calidad de la energía puede durar desde milisegundos a horas (36).

Asimismo, las características de la carga no lineales de varios electrónicos de potencia, de equipamiento doméstico o industrial y de oficinas conectadas a la fuente de alimentación eléctrica podrían causar perturbaciones eléctricas que conducen a la mala calidad de la energía. Además, los equipos tales como fotocopiadoras, ordenadores, impresoras, etc. producen perturbación eléctrica que puede destruir ciertos equipos sensibles conectados a la misma fuente de suministro o en algunos casos podría provocar un mal funcionamiento. También, los accionamientos industriales alimentados por convertidor electrónico crean perturbaciones eléctricas. Por tanto, cuando se producen estas perturbaciones o la calidad de la energía es pobre, la pérdida de la producción sucede con las consiguientes pérdidas económicas.

Incluso, el mayor efecto de hueco de tensión incluye una falla temprana de los equipos, la pérdida de eficiencia en la máquina rotativa, el mal funcionamiento de los equipos de tecnología de la información, pérdida de datos o la estabilidad, la alarma de proceso, mal funcionamiento de la medición y el instrumento de control, entre otros.

Además, el pico de voltaje y oleaje causa la destrucción de componentes electrónicos, de fusión de los materiales de aislamiento, el exceso de pantalla brillante, resplandor luz excesiva, daño o paro del equipo sensible, errores de procesamiento de datos o la pérdida de datos, la interferencia electromagnética.

También, los armónicos provocan el desperdicio de energía y hacen que el poder sea utilizado de manera ineficiente, en inclusive provocan un fallo prematuro de los equipos. Esto afecta el buen funcionamiento de la máquina industrial, con lo que provoca interrupción de la producción. Por tanto, en los hospitales todo esto

puede resultar en la pérdida de la vida. Incluso, se pueden afectar a las actividades de procesamiento de datos de equipos de tecnología de la información, por ejemplo, en tiempo real, como el procesamiento de transacciones de banca se pueden perder, etc. Entonces, el sobrecalentamiento de los cables y equipos se encuentran entre efecto de armónica.

El costo económico de los problemas de calidad eléctrica es enorme sobre todo en la industria. Dicho costo incluye la pérdida de producción, daños al equipo costoso, el coste salarial, el costo de reinicio. Asimismo, los costos no financieros incluyen molestias, por ejemplo, ser incapaz de ver las noticias o el partido de fútbol o un programa en la televisión. Esto se puede cuantificar en cantidad extra de dinero que un cliente quiere pagar para evitar este inconveniente

2.2.2.5. La regulación de las Normas de Calidad de Energía

Hay un buen número de organizaciones profesionales estándar de calidad de la energía, mientras que muchos de estos organismos son nacionales y pocos son transnacionales. Las normas más aceptadas son la Comisión Electrotécnica Internacional IEC y el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE. Estas organizaciones de nivel estándar proporcionan el punto de referencia mínimo requerido, la práctica técnica aceptable y da recomendaciones sobre cuestiones técnicas eléctricas y electrónicas.

2.2.2.6. Norma de Calidad de Energía en el Perú

En el Perú se respeta la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos-NTCSE (37). Esta norma es de aplicación imperativa para el suministro de servicios relacionados con la generación, transmisión y distribución de la electricidad, están sujetos a regulación de precios y de aplicación supletoria de la

voluntad de las partes para aquel suministro que, conforme a ley, pertenece al régimen de libertad de precios. En este último caso, las partes relevantes de la norma que no estén contempladas expresamente en contratos de suministro de servicios serán aplicadas supletoriamente.

El control de la calidad de los servicios eléctricos se realiza en los siguientes aspectos:

- a) Calidad de producto. Tensión, frecuencia, perturbaciones (*flícker* y tensiones armónicas).
- b) Calidad de suministro. Interrupciones
- c) Calidad de servicio comercial. Trato al cliente, medios de atención, precisión de medida.
- d) Calidad de alumbrado público. Deficiencias del alumbrado

En este estudio solo se centrará en la calidad del producto de manera que se describen las características asociados a este control de calidad.

a) Tensión

El indicador para evaluar la tensión de entrega en un intervalo de medición (k) de quince (15) minutos de duración es la diferencia (ΔV_k) entre la media de los valores eficaces (RMS) instantáneos medidos en el punto de entrega (V_k) y el valor de la tensión nominal (V_N) del mismo punto (37). Este indicador está expresado como un porcentaje de la tensión nominal del punto:

$$\Delta V_k(\%) = \frac{V_k - V_N}{V_N} \times 100\%$$

Las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía, en todas las etapas y en todos los niveles de tensión son de hasta el $\pm 5.0\%$ de las tensiones nominales de tales puntos. Mientras que si se trata de redes secundarias en servicios calificados como urbano-rurales y/o rurales, dichas tolerancias son de hasta el $\pm 7.5\%$. Además, se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si la tensión se encuentra fuera del rango de tolerancias establecidas en este literal, por un tiempo superior al cinco por ciento (5%) del período de medición.

b) Frecuencia

El indicador principal para evaluar la frecuencia de entrega, en un intervalo de medición (k) de quince (15) minutos de duración es la Diferencia (Δf_k) entre la Media (f_k) de los Valores Instantáneos de la Frecuencia, medidos en un punto cualquiera de la red de corriente alterna no aislado del punto de entrega en cuestión, y el Valor de la Frecuencia Nominal (f_N) del sistema (37). Este indicador, denominado variaciones sostenidas de frecuencia, está expresado como un porcentaje de la Frecuencia Nominal del sistema:

$$\Delta f_k(\%) = \frac{f_k - f_N}{f_N} \times 100\%$$

Además, las tolerancias admitidas para variaciones sobre la frecuencia nominal, en todo nivel de tensión, son las siguientes:

- Variaciones Sostenidas (Δf_k (%)): ± 0.6 %.
- Variaciones Súbitas (VSF'): ± 1.0 Hz.

- Variaciones Diarias (IVDF'): ± 600.0 Ciclos.

c) Perturbaciones

La autoridad propicia el control de todo tipo de perturbaciones. Inicialmente, sin embargo, solo se controla el *flicker* y las tensiones armónicas. Dicho *flicker* y las armónicas se miden en el voltaje de puntos de acoplamiento común (PAC) del sistema, de puntos indicados explícitamente en la norma o de otros que especifique la autoridad en su oportunidad (37).

Se consideran los siguientes indicadores de calidad:

Para *Flicker*: El índice de severidad por flícker de corta duración (Pst) definido de acuerdo a las normas IEC.

Para armónicas. Las tensiones armónicas individuales (v_i) y el factor de distorsión total por armónicas (THD). Estos indicadores (Pst, V_i , THD) se evalúan separadamente para cada intervalo de medición de diez (10) minutos durante el período de medición de perturbaciones, que como mínimo será de siete (7) días calendario continuos.

2.2.2.7. Monitoreo de la Calidad de energía

El monitoreo de calidad de energía (MCE) es el proceso de recolección, análisis e interpretación de los datos de medición de potencia en bruto en información útil (5). Implica, en un período de tiempo, proceso de medición de tensión y corriente de la oferta y el examen de su forma de onda, aunque el análisis no se limita a estas dos cantidades. Incluye la inspección de las conexiones de cableado, conexión a tierra, de equipos. Además, el seguimiento de la fuente de

alimentación ayuda a detectar problemas actuales y potenciales de calidad de energía que puede acortar gradualmente la vida útil de los equipos. Asimismo, ayuda a la supervisión PQ para mejorar el rendimiento de calidad de energía instalaciones.

Asimismo, las compañías eléctricas deben de garantizar que la calidad de la energía suministrada se encuentra dentro de los estándares especificados y aceptables y además deben de estar siempre listas para normalizar los problemas técnicos que afectan a la calidad de la potencia suministrada. Los últimos avances en las tecnologías electrónicas y la comunicación ofrecen oportunidades para el seguimiento de los sistemas de energías grandes y complejos de una manera eficiente. Incluso, las empresas pueden aprovechar esta ventaja para recoger datos sobre diferentes partes de las redes eléctricas, evaluar el rendimiento del sistema y responder en consecuencia, así como la dirección se queja de los consumidores de energía (34).

Un buen instrumento de supervisión de potencia proporciona información útil y fiable sobre el análisis de calidad de la energía. Los ejemplos incluyen lo siguiente (34):

- Monitor en la planta de energía que da el perfil de voltaje y la forma de onda de la alimentación para hueco de tensión, la inflamación, la variación de tensión y evaluación a nivel de armónicos.
- Grabador digital de fallas, el cual dispara en caso de fallos y registra corriente, tensión y su forma de onda en el momento de la falla para el análisis.

- Analizador de perturbación, que puede medir amplia variedad de perturbación de energía de muy corta duración tensión transitoria a tensiones bajas de larga duración y los cortes.
- Medidor de parpadeo, que es un dispositivo de medición para evaluar el nivel de molestia parpadeo de tensión. Este medidor es una respuesta especial y modelador analizador de una cadena que consta de referencia incandescente de 60W-ojo lámpara-cerebro de un observador de la media. Tiene dos partes principales, la primera se usa para simular el comportamiento del conjunto lámpara-ojo-cerebro y la segunda parte es un enfoque en el análisis estadístico de la percepción parpadeo instantáneo
- Circuito monitor, que proporciona detección de alarma precisa, fiable, rápida y múltiples niveles de información sobre cada tema de la calidad de energía para ayudar a identificar el origen y la causa de un problema que incluye flujos de potencia armónicos, parpadeo, SAG, además de hincharse.
- Osciloscopio, aquel que puede mostrar los armónicos presentes en todos los eventos de calidad de energía.
- Medidor de potencia y analizador de calidad, que es un instrumento similar a un osciloscopio, pero más adecuado y más versátil para el control de calidad de energía. Puede tener medidas de frecuencia, voltaje, corriente, rotación de fase, potencia aparente y real, armónicos y también puede grabar y almacenar los datos medidos y analizarlos con el *software* para PC.

2.2.2.8. Mitigación Técnica

Hay un número de medidas para garantizar la entrega y buena calidad de la energía. La mitigación de los problemas de calidad de energía puede tener lugar en diferentes niveles del sistema eléctrico: en la central eléctrica, en las líneas de transmisión y estaciones, en las redes de distribución primaria y secundaria, así como en el equipo de servicio y cableado del edificio de los clientes. Cabe señalar que el problema de la calidad de la energía no puede ser eliminada por completo. Sin embargo, el efecto de problemas de calidad de energía se puede reducir drásticamente a casi cero (30).

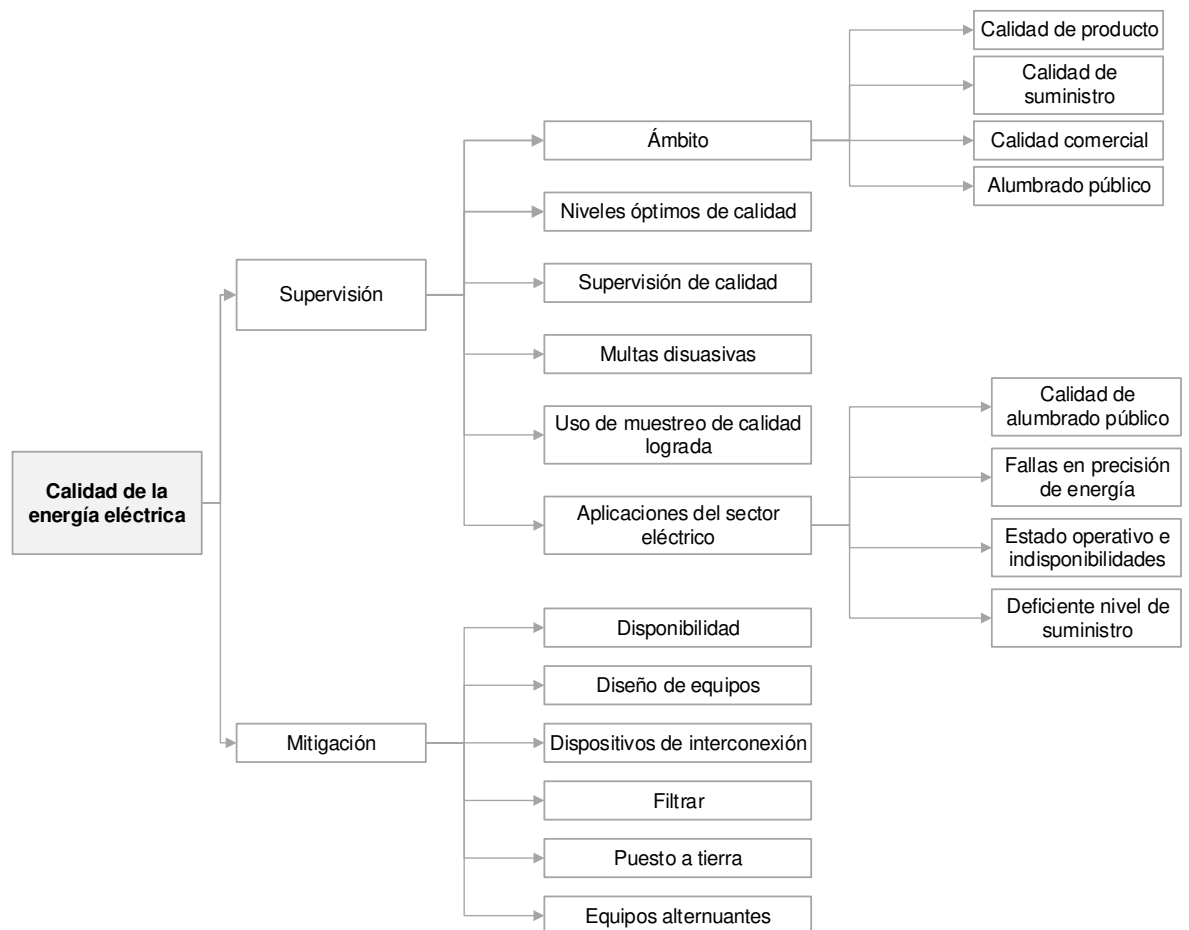


Figura 4. Supervisión y mitigación de calidad de servicio.

a) Disponibilidad

Asegurándose de que hay una potencia adecuada en la red. Se requiere de una adecuación de la red, que es la capacidad de la planta de energía y líneas de transmisión para cumplir con la demanda de carga y la necesidad de energía de los clientes. Esto quiere decir que hay la infraestructura de generación suficiente, transmisión y distribución dentro del sistema para satisfacer la demanda eléctrica del cliente. Esto es necesario para minimizar los problemas de calidad de energía.

b) Diseño de equipos

El fabricante del equipo debe ser muy consciente de los problemas de calidad de energía y equipos de diseño de tal manera que el equipo en sí no contribuya a los problemas de calidad de energía. También ese equipo debe de estar diseñado para resistir y ser menos sensible a las perturbaciones en los sistemas de potencia. Esto ayudará en la reducción del efecto de los problemas de calidad de energía.

c) Dispositivos de interconexión

Hay un número de dispositivos electrónicos de potencia que se pueden emplear para la interfaz entre el enchufe de alimentación y los equipos sensibles. Esto es para evitar problemas de calidad de energía en el suministro y que esto llegue al equipo. Un ejemplo es el uso de regulador de voltaje automático para mantener la tensión constante en los equipos sensibles a pesar de cualquier hueco de tensión, se hinchan y cualquier forma de bajo o de sobretensión. Otro ejemplo es UPS que mantiene el suministro al equipo cuando hay interrupción momentánea de la alimentación. Otra es la dinámica de tensión restaurador DVR, que restaura la tensión de línea sinusoidal suave incluso si la forma de onda de voltaje de la

fuelle se degrada o distorsionada. DVR es un convertidor de fuente de tensi3n. DVR se suelen utilizar para la interfaz entre la fuente de alimentaci3n y la carga sensible a proteger.

d) Filtro

El filtro se utiliza para permitir el flujo de la frecuencia deseada y bloquear la se1al no deseada de conseguir al equipo protegido. Dicho filtro est1 construido por condensadores inductancia y la resistencia que crean camino de baja impedancia para la frecuencia fundamental querido y la ruta de alta impedancia para la frecuencia destinados a la eliminaci3n de arm3nicos producidos por carga no lineal mediante la inyecci3n de una corriente arm3nica de cortes1a exacta a la misma. Los diferentes tipos filtros incluyen filtros activos de arm3nicos, filtros de arm3nicos pasivos, line-reactores, filtros de realimentaci3n electr3nicos y transformadores especiales que utilizan fuera de devanados de fase para llevar a cabo la reducci3n de arm3nicos (5).

e) Puesta a tierra adecuada del sistema el3ctrico

La adecuada conexi3n a tierra del sistema el3ctrico no solo protege a la instalaci3n, a los equipos y a los usuarios, sino tambi3n juega un papel clave en la mejora de un mejor rendimiento del sistema. Adem1s, la mala puesta a tierra es una de las causas de la mala calidad de la energ1a, sobre todo a los consumidores finales (13).

f) Dispositivos y equipos atenuantes

Estos son los dispositivos y el uso del equipo para corregir problemas de calidad el3ctrica (36):

- Cambio de tomas del transformador

Es el transformador de potencia que incorpora a dispositivos a cambio de tomas. Una vez, un voltaje de entrada está fuera del rango esperado, es necesario cambiar la relación de arrollamiento del primario del transformador a la secundaria, de tal manera que para pueda producir los valores de tensión deseadas en el secundario. Además, el tipo de transformador de conmutación electrónica es altamente eficiente, mucho más rápido en funcionamiento (en milisegundos), tiene una baja impedancia. Consta de circuito de detección electrónica y detectores de estado sólido (tiristores) para cambiar convierte ratio.

- Compensador de VAR estático SVC

Esto se utiliza generalmente en el sistema de transmisión para aumentar el suministro de potencia reactiva y regular el voltaje. SVC es una conexión en derivación de los reactores y condensadores para controlar la tensión y prevenir el hundimiento y sobretensiones durante la falla, así como mejorar la capacidad de transmisión de línea de transmisión larga.

- Tensión transitoria protección contra sobretensiones TVSS

El TVSS es un dispositivo que da fijación de voltaje transitorio y limita de tensión excesiva por un medio de resistencia no lineal, impidiendo de este modo que un voltaje peligroso llegue a aparatos y equipos. Puede ser instalado como interfaz entre toma de corriente y el equipo sensible o en el panel principal consumidor de servicio eléctrico.

- Pararrayos

Los pararrayos se utilizan normalmente en sistemas de transmisión y distribución de energía para evitar muy alta tensión de los rayos de ser inducida en

el sistema eléctrico principal por la captura de la tensión y desviándolo a la masa general de la tierra a través del electrodo de tierra. Esta proteger la instalación y equipos eléctricos contra daños por sobretensión que suele ser en millones de voltios.

Otros dispositivos atenuantes son transformadores de aislamiento, transformadores constantes de tensión CVT, transformadores (en las instalaciones de alta tecnología) armónica con supresión entre otros.

2.2.2.9. Supervisión de la calidad en el sistema eléctrico peruano

Es necesario supervisar y regular la calidad del sistema eléctrico, el cual lo provee un monopolista, por tanto, no brinda el nivel óptimo y socialmente aceptado, ya que es el monopolista quien determina el nivel de cantidad y calidad que se brinda. Entonces, el supervisar la calidad del servicio de electricidad es de importancia para el estado y que este intervenga, debido a las características monopólicas del proveedor y sus incentivos que generan que este otorgue un nivel inferior al deseado, además de generar información asimétrica en los consumidores, reclamos en las empresas y la dificultad de distinguir entre una buena y mala calidad de servicio (11).

a) Ámbito de la supervisión de la calidad en el servicio eléctrico.

En aquellos mercados donde hay competencia efectiva, las empresas siguen un tipo de competencia donde ofertan diferentes niveles de calidad y precio, de modo que la clientela obtiene lo que desea según sus necesidades. Esto no ocurre en el sistema de redes, donde solo existe un solo proveedor, lo que causa dos problemas: la imposibilidad de ofrecer precios y calidad diferente y que a raíz de ello no hay competencia de calidad ni precio. Este aspecto trae que el sistema

eléctrico sea regulado en precio y calidad. Los aspectos de calidad que usualmente se regulan son los siguientes:

i. Calidad técnica: calidad del producto.

Se refiere a la calidad de la tensión, frecuencia, *flickers*, tenciones armónicas y perturbaciones.

ii. Calidad técnica: calidad del suministro

Se refiere a la ocurrencia de interrupciones.

iii. Calidad comercial.

Esta considera tres rubros:

- La facturación y registro
- La atención al cliente
- La medición del consumo.

iv. Alumbrado público.

El alumbrado público se relaciona con el nivel de iluminación de los espacios públicos como calles, parques, etc.

b) Determinación de los niveles óptimos de calidad.

Bien se sabe que, a mayor calidad, mayor es el costo del servicio, es por ello que el análisis óptimo de calidad debe considerar los beneficios y los costos conjuntamente. Sumado a esto se le debe agregar el significado de costo social neto (CSN). El CSN puede ser obtenido con lo siguiente:

$$CSN = I (CAL) + C (CAL)$$

Donde:

$I(CAL)$ = inversión necesaria para obtener un nivel de calidad (CAL)

$C(CAL)$ = costo de los usuarios que están asociados al CAL.

El punto óptimo de la calidad, se da cuando la inversión marginal de las empresas eléctricas es igual a la reducción marginal en los costos que incurren los usuarios para mejorar su calidad.

c) Supervisión de la calidad

El enfoque actual en supervisión de calidad tiene el siguiente esquema y sus respectivas etapas:

- i. La autoridad normativa establece los niveles requeridos de calidad para cada caso teniendo en cuenta los beneficios y costos.
- ii. El ente regulador o supervisor diseña los procedimientos de supervisión con el fin de alcanzar los niveles de calidad fijados en las normas, la forma como las empresas prestadoras del servicio deben medir y reportar sus niveles de calidad, así como las sanciones por los incumplimientos.
- iii. La empresa prestadora del servicio informa al regulador o supervisor los niveles de calidad alcanzados de acuerdo a los procedimientos de requerimiento de información.
- iv. El regulador o supervisor verifica que la información proporcionada por la empresa sea correcta. Dependiendo del indicador de calidad a medirse este proceso puede realizarse a través de muestreo, entre otros.
- v. Cuando los niveles de calidad encontrados están por debajo de la norma, el regulador o supervisor aplica sanciones que normalmente consisten en multas pecuniarias, pero en el caso extremo puede llegar

a paralizaciones del servicio como en el caso de riesgo inminente o daño irreversible.

En el Perú, en 1997, se dictó el D.S. 020-97-EM, el cual trata sobre la normativa técnica con respecto a la calidad del servicio eléctrico, en este documento se fijó las compensaciones y estándares que se debe de cumplir con respecto a la calidad de producto, suministro y alumbrado público.

d) Uso de muestreo en la determinación de la calidad alcanzada

Para determinar la calidad lograda (alcanzada) se toma una muestra. Un caso usual es cuando se desea hacer la verificación de las unidades, y si estas cumplen las características establecidas o no, por ejemplo, tomar una muestra de alumbrado público, mediante una fórmula estadística para población finita, y decidir si cumple con los requerimientos establecidos, una de estas características trata sobre el funcionamiento, es decir si el alumbrado público esté en funcionamiento o no.

e) Multas disuasivas

De acuerdo con la teoría económica denominada como Public Enforcement, las sanciones necesarias ante el incumplimiento del uso óptimo de un recurso están en función a tres aspectos:

- La determinación de las sanciones y montos de manera simultánea (m).
- El esfuerzo por supervisión (e).
- El periodo de cierre del local o pena privativa de la libertad (t).

Este aspecto, considerándolo desde el aspecto social, no solo tomó en cuenta los daños por el daño, también evalúa los gastos extras como el de supervisión, gastos judiciales, costos administrativos, etc.

Polinsky y Shavell desarrollaron un modelo teórico que incorpora los aspectos antes mencionados, y brinda valores óptimos de sanciones o multas (m), de la pena privativa (t) y del esfuerzo de supervisión (e) (11). El modelo planteado afirmó que existe un infractor llamado B , el costo o daño a la sociedad (d), el costo de aplicar una sanción (k), la probabilidad de que una infracción sea detectada correspondiente a un nivel de esfuerzo ($p(e)$), la probabilidad de que se aplique la sanción (q), el costo administrativo (α) y la “desutilidad” que genera B medido por unidad de tiempo (λ).

Según los autores la multa derivada de la infracción de B , será:

$$m = \frac{B}{q \cdot p(e)}$$

f) Aplicaciones en el sector eléctrico

i. Determinación de multas por calidad del alumbrado público

Para esto se requiere un esquema de supervisión centrado en el alumbrado público y su funcionamiento. Además, se establecieron niveles de tolerancia de las lámparas públicas, para el 2004 fue de un 3%, para el 2005 fue 2,5%, para el 2006 fue de 2% y del 2007 en adelante un promedio de 1,5%. Para que este indicador sea confiable, es necesario que las muestras sean representativas.

ii. Determinación de multas por fallas en la precisión de la medida de la energía.

El procedimiento de multa está dado por el contraste de los medidores medidos semestralmente, el cual se supervisa por el organismo regulador siguiendo

un esquema establecido de muestreo. Los medidores tomados como muestra deben de cumplir ciertos requisitos y ordenados de mayor a menor. Las empresas proveedoras serán multadas se el regulador encuentra que las no se han hecho las verificaciones y contrastaciones correspondientes. Existen tres tipos de multas:

- Por contrastes no realizados.
- Por contrastes no realizados y detectados por OSINERGMIN.
- Por no haber reemplazado medidores defetuosos.

iii. Determinación de multas por indisponibilidades y estado operativo de las unidades de generación.

Entas las funciones de Osinergmin está el que haga cumplir los procesos que establece el Comité de Operación Económica del SEIN (COES-SINAC). El procedimiento, a modo de resumen, busca:

- La verificación del cumplimiento del proceso operado aleatoriamente por el COES-SINAC).
- La determinación del estado operativo de unidades térmicas.

Además de acuerdo al proceso, se establece las siguientes causales de multas:

- Si la verificación de la prueba desarrollada aleatoriamente no ha tenido éxito.
- Si la unidad de generación no está disponible.
- Si se excede el plazo para el mantenimiento.

iv. Determinación de multas por no brindar los niveles de calidad de suministro

Debido a que las empresas eléctricas deben de dar un nivel establecido de calidad, se vio necesario establecer una multa para asegurar que las empresas inviertan de acuerdo a sus tarifas. Es así como la multa se compone de los valores alcanzados en desviación, de los indicadores esperados de desempeño, los cálculos tarifarios y los costos asociados a los indicadores de duración de interrupciones y su respectiva frecuencia,

2.3. Definición de términos básicos

- Fiabilidad. Es la permanencia de la calidad de los productos (o servicios) a lo largo del tiempo. Es decir, la capacidad de desarrollar adecuadamente su labor a lo largo del tiempo.
- Sistemas eléctricos. Es el conjunto de elementos que constituyen la red eléctrica de potencia siendo su función, generar, transmitir y distribuir, la energía eléctrica hasta los usuarios.
- Calidad de suministro. Se expresa en función de la continuidad del servicio eléctrico a los clientes, es decir, de acuerdo a las interrupciones del servicio.
- Interrupción. Es un evento que altera la secuencia en que el procesador ejecuta las instrucciones.
- Calidad de la energía eléctrica. Es la ausencia de interrupciones, sobretensiones, deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje RMS.

- Sobrecorriente. Es la corriente máxima que un dispositivo puede soportar en un tiempo determinado, es mayor que la corriente nominal y causada por una sobrecarga, cortocircuito, etc.
- IEC (Comisión Electrotecnia Internacional). Es la organización que publica estándares internacionales basadas en el consenso y gestiona los sistemas de evaluación de conformidad de los productos, sistemas y servicios eléctricos y electrónicos.
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos). Es una organización profesional creada con el objetivo de ayudar a la prosperidad global, mediante la promoción del proceso de ingeniería.
- Perturbación. Es una señal que tiende a afectar adversamente el valor de la salida de un sistema.
- Subestación eléctrica: Es una instalación destinada a modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica.
- Interruptor de potencia. Es un dispositivo electromecánico, cuya función principal es la de conectar y desconectar circuitos eléctricos bajo condiciones normales o de falla.
- Reconectador. Es un interruptor con reconexión automática.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

El método que se aplicó en la investigación fue el analítico (38), debido a que se recopilarán datos del alimentador, respecto del sistema de protección y de la calidad del producto de energía, los cuales serán analizados según sus componentes e indicadores.

Asimismo, la investigación fue de alcance descriptivo-explicativo, tal como lo indicaron Hernández, y otros (38). Fue descriptivo, ya que evaluó la situación actual del funcionamiento del alimentador en estudio y del sistema de protección que se viene empleando. Y fue explicativo, debido a que determinó la influencia que ha tenido el sistema de protección de distribución en la calidad de la energía suministrada.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación fue no experimental transversal explicativo, tal como lo sugiere Bernal (39), toda vez que se realizó y recopiló la información del sistema de protección y de los fallos e interrupciones generados, los cuales son indicios de la calidad del servicio de energía eléctrica.

$$M: \quad O_x \longrightarrow O_y$$

Dónde: M es la muestra de alimentadores del sistema de distribución; O_x es la observación de la variable independiente (esto es la protección del sistema); y O_y es la observación de la variable dependiente (esto referido a la calidad del producto de servicio de energía). La flecha muestra la dirección de relación causal.

Asimismo, la investigación tuvo un diseño longitudinal, dado que se evaluaron por los doce meses del año 2018.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La unidad de análisis fue el alimentador de la subestación de distribución, es así que la población fue el total de alimentadores dentro del Sistema Eléctrico del Valle de Mantaro.

3.3.2. Muestra

Teniendo en cuenta que los datos se toman a lo largo de los años, se estima una muestra que corresponde a un alimentador, el cual es el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro.

El muestreo fue no probabilístico por conveniencia, toda vez que se tomó la información de los datos de todos correspondientes al año 2018 del alimentador en estudio. Asimismo, se ha considerado solo un alimentador de la unidad toda vez que el acceso a la información respecto a los planos y diseños, así como fallas de la Unidad del Valle del Mantaro es restringida por Electrocentro SA, de manera que limitó el desarrollo de la investigación.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica aplicada en la investigación viene a ser la observación y la revisión documental. Los datos se obtuvieron con el uso de medidores eléctricos y aparatos para establecer los indicadores de fallas y de calidad de energía eléctrica. Es decir, para la variable dependiente e independiente, se utilizaron registros, fichas de observación, control y toma de lectura de los medidores del alimentador en estudio. Asimismo, los instrumentos usados son el analizador de redes (análisis y estudio del sistema) y se aplicaron *softwares* como el SPSS v.25.0 y el Programa ETAP 12.6 para establecer la curva de coordinación.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.1.1. Descripción del Alimentador A4502

En la subestación de Concepción se encuentra el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro, el cual se encuentra supeditado por la empresa Electrocentro SA. Es en este punto donde se estableció el recojo de información de manera que se obtenga datos respecto a las fallas de este sistema de distribución. En relación con el cumplimiento con la calidad estándar que establece el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin), la empresa Electrocentro SA debe actuar rápidamente en los casos de intermitencias y fallas dentro del sistema (ver Figura 5).

El mantenimiento constante de las líneas y el sistema de distribución requiere operaciones periódicas, toda vez que las fallas que pueden ocasionar problemas en el servicio de energía como las intermitencias en el servicio (interrupciones) y estabilidad de la frecuencia.

Las pruebas estuvieron asociadas para alcanzar la estabilidad y continuidad del sistema ofreciendo una mejor calidad de suministro de manera que se tenga una mayor coordinación respecto a la protección que se tiene que aplicar de manera que se optimice el tiempo de las interrupciones y de los eventos generados.

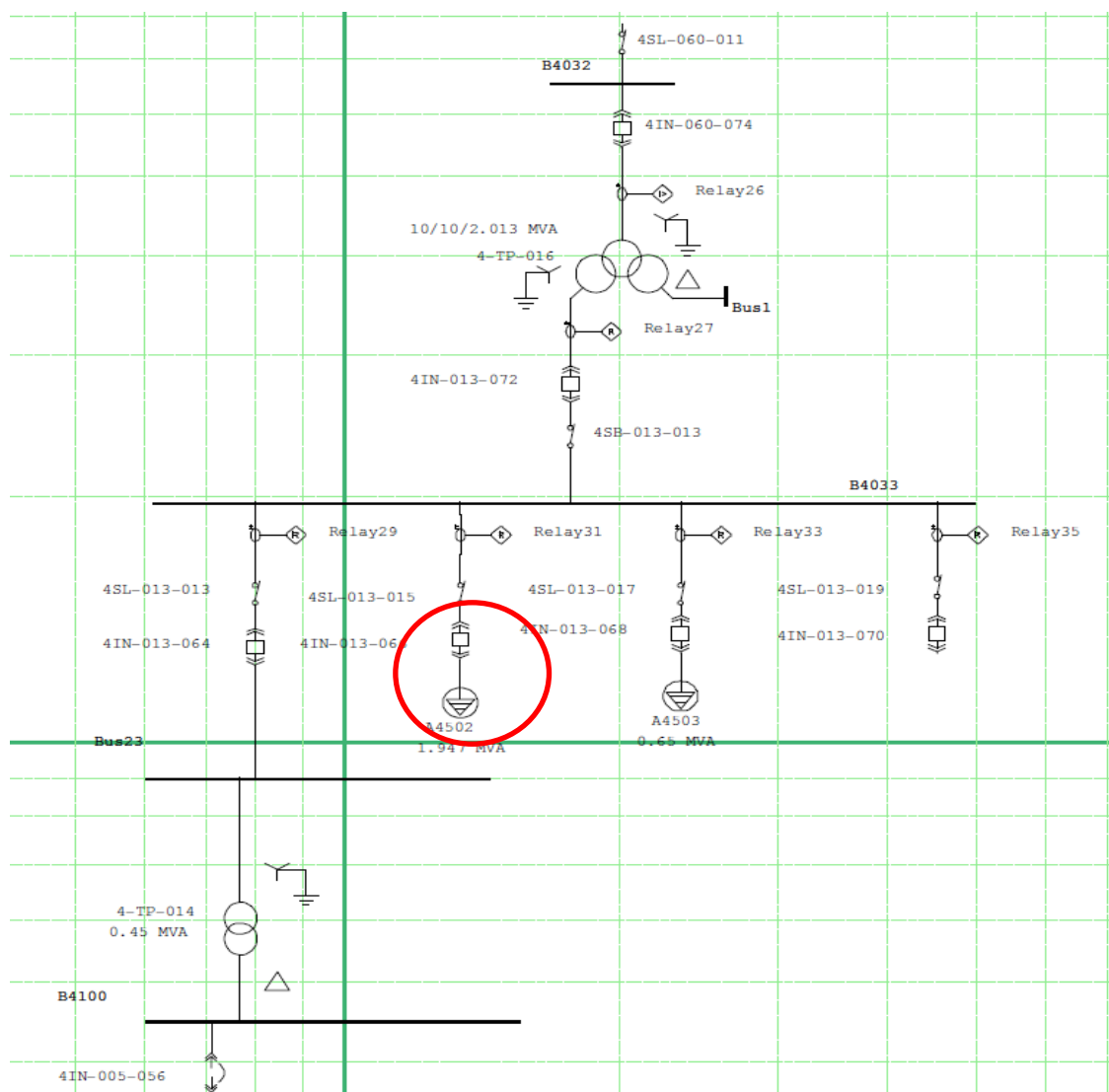


Figura 6. Diagrama del Alimentador A4502 dentro de la SET Concepción.

4.1.2. Coordinación de protección en la calidad de producto del servicio de energía en el Alimentador A4502

El Alimentador A4502 se encuentra dentro de la Subestación Eléctrica (SET) de Concepción dentro de la Unidad del Valle del Mantaro. Este alimentador, el cual se encuentra asociado a la Barra B4033, tiene una potencia de 1.947 MVA de manera que permite abastecer de energía eléctrica a los distritos aledaños a la Carretera Central pasado desde San Jerónimo de Tunán hasta el punto de Quebrada Honda, de forma complementaria permite alimentar las zonas correspondientes a la Carretera La Huaycha y los distritos de Mito y Orcotuna tal como se muestran en las Figura 5 y Figura 6.

Asimismo, dentro de esta se detalla las características necesarias de las protecciones en caso de fallas dentro de la SET Concepción y específicamente vinculados con el A4502. Asimismo, es importante tener en cuenta que el tipo de relevadores que emplea Electrocentro SA es un relé electromecánico, de manera que todos los resultados de fallas corresponden a este tipo.

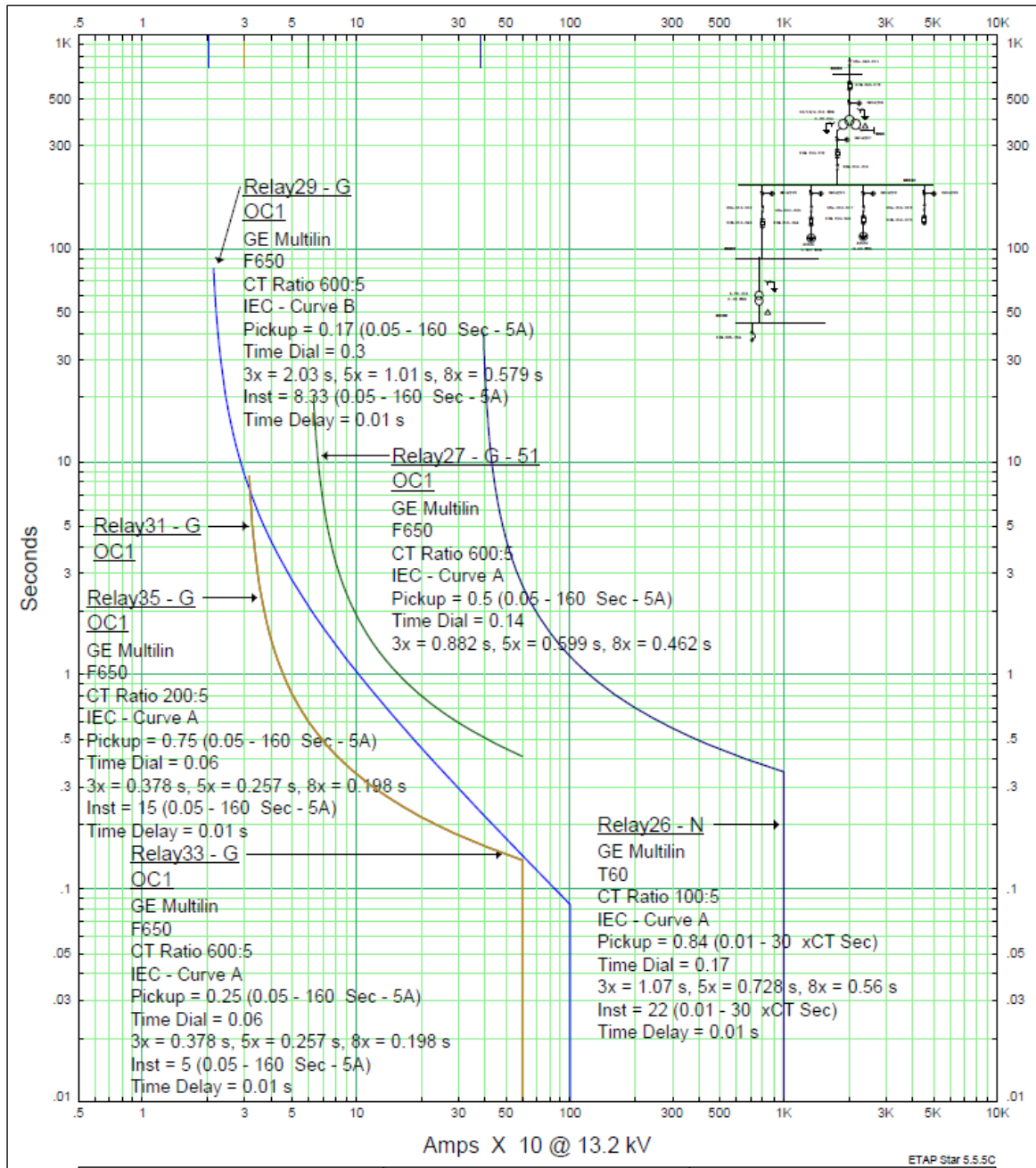


Figura 7. Curva característica de los interruptores asociados (Relay31 y Relay35) al Alimentador A4502 de la SET Concepción.

Se verifica que tiempo de retraso respecto a las fallas dentro del Relay31 y Relay35 (en los cuales encuentra el Alimentador A4502) están asociados de manera que establece una separación de 0.198 segundos, el cual se debería considerar como rápido frente a los eventos que sucedan.

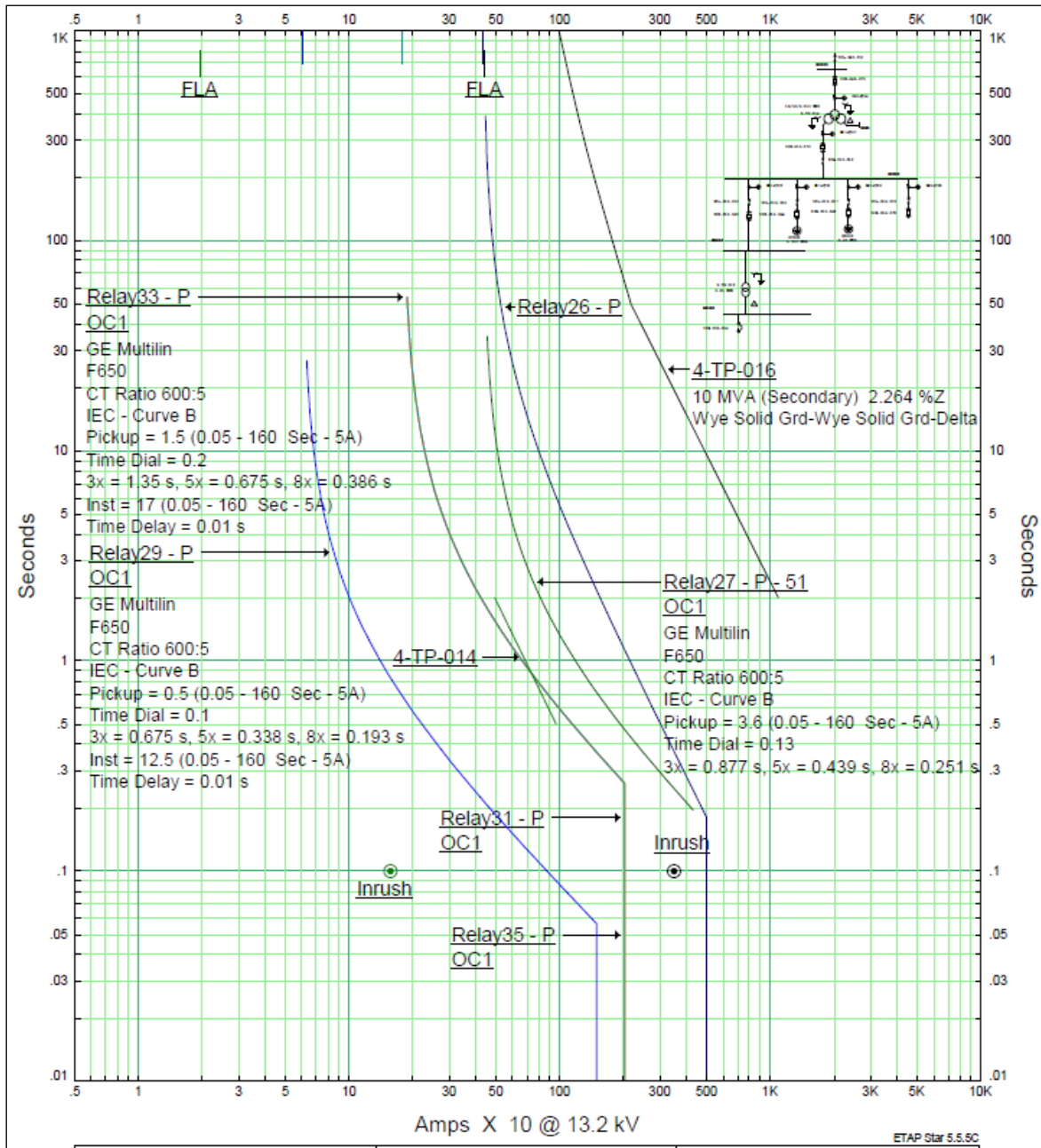


Figura 8. Curva característica de los interruptores asociados (Relay33) al Alimentador A4502 de la SET Concepción.

De igual manera se ha estimado a través del ETAP que el Relay33 está asociado al Alimentador A4502, el cual tiene un tiempo de retraso de 0.386 segundos; relativamente un poco más alto, pero que se considera rápido de manera que no se vea afectada el producto del servicio de energía.

4.1.3. Fallas asociadas al Alimentador A4502

Se han encontrado diversas fallas asociadas al Alimentador A4502, aunque si bien no son programadas permite la actuación rápida de diversos componentes como los interruptores para evitar la intermitencia del servicio de energía.

Tabla 2. Fallas identificadas en el Alimentador A4502 de la SET Concepción

Motivo	Submotivo	Nombre elemento eléctrico	Nombre elemento eléctrico origen	Fase interrumpida	Fecha interrupción	Fecha reposición	Tiempo total	Potencia medida MW	Observación	Medida correctiva	Protección que se activo
Falla	Línea abierta o caída	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCI ÓN	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCI ÓN	RST – Trifásica	14/01/2018 15:19	14/01/2018 15:49:00	0:30:00	0.68	Interrupción del suministro eléctrico por desconexión del interruptor en 13.2kV, por desbalance de carga, por fusión de fusibles fases R y S del Secc. I404200 ubicado entrada a San Pedro de Saño, originado por fuertes vientos en la zona.	A las 15:49 horas se restablece alimentador hasta Secc. I404200 desconectado, se reemplaza fusibles fusionados y se restablece el servicio sin novedad a las 17:28 horas.	Interruptor
Falla	Descarga atmosférica	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCI ÓN	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCI ÓN	RST – Trifásica	21/01/2018 16:17	21/01/2018 16:21:00	0:04:00	1.09	Interrupción de suministro eléctrico por desconexión automática de interruptor en 13.2Kv, debido a falla de	Se cierra interruptor y se restablece el servicio.	Interruptor

Motivo	Submotivo	Nombre elemento eléctrico	Nombre elemento eléctrico origen	Fase interrumpida	Fecha interrupción	Fecha reposición	Tiempo total	Potencia medida MW	Observación	Medida correctiva	Protección que se activo
									sobrecorriente fase R en momentos de falla fuertes vientos y descargas atmosféricas por la zona.		
Falla	Tiempo adicional por mtto. programado	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	RST – Trifásica	31/01/2018 15:00	31/01/2018 16:06:20	1:06:20	2	GR-110-2014: Suministro, Transporte, Montaje Electromecánico, Pruebas, Puesta en servicio de la Rehabilitación de redes en MT y SED's de alimentadores A4502 y A4504 Eje: Matahuasi – Quebrada Honda.	Tiempo Adicional	Interruptor
Falla	Falla empalme de red	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	RST – Trifásica	16/02/2018 13:48	16/02/2018 16:45:30	2:57:30	1.26	Interrupción de suministro eléctrico por desconexión del interruptor en 13.2 kV actúa protección de sobrecorriente fase S a tierra, se realiza un intento fallido, motivo conductor	Se ubica causa de la falla, se realiza empalme de conductor en aislador y se restablece el servicio a los sectores afectados.	Interruptor

Motivo	Submotivo	Nombre elemento eléctrico	Nombre elemento eléctrico origen	Fase interrumpida	Fecha interrupción	Fecha reposición	Tiempo total	Potencia medida MW	Observación	Medida correctiva	Protección que se activo
									desprendido del aislador Fase "T" encima de la cruceta en la localidad de Hualhuas.		
Falla	Contacto de Red con árbol	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	RST – Trifásica	16/02/2018 17:30	16/02/2018 17:55:20	0:25:20	1.28	Interrupción de suministro eléctrico por desconexión del interruptor en 13.2 kV actúa protección de sobrecorriente fase R a tierra.	Se dejan desconectados los secc. I404001 hasta las 18:32 horas, Secc. I404029 hasta las 18:57 horas, secc. I404025 hasta las 19:06 horas y secc. I404024 hasta las 19:14 horas, restableciéndose el servicio al 100%.	Interruptor
Falla	Descarga atmosférica	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	RST – Trifásica	22/02/2018 15:53	22/02/2018 16:20:41	0:27:41	0.77	Interrupción de suministro eléctrico por desconexión automática de interruptor en 13.2kV debido a falla fase S a tierra ocasionado por	Se cierra interruptor y se restablece el servicio a los sectores afectados.	Interruptor

Motivo	Submotivo	Nombre elemento eléctrico	Nombre elemento eléctrico origen	Fase interrumpida	Fecha interrupción	Fecha reposición	Tiempo total	Potencia medida MW	Observación	Medida correctiva	Protección que se activo
									descarga atmosférica en la zona.		
Falla	De coordinación de protección	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	RST – Trifásica	22/03/2018 12:43	22/03/2018 12:48:04	0:04:52	1.2	Interrupción de suministro eléctrico por desconexión automática del interruptor en 13.2kV debido a falla fase R a tierra debido a maniobras de reposición de secc. S/C Av. Daniel Turín hacia San Pedro de Saños	Se cierra interruptor y se restablece el servicio a los sectores afectados.	Interruptor
Falla	Contacto de Red con árbol	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	RST – Trifásica	24/04/2018 3:02	24/04/2018 04:21:00	1:18:59	0.9	Interrupción del suministro de energía eléctrica por desconexión automática del interruptor, debido a falla fases R y T a tierra, por contacto de rama de árbol a las redes en la derivación a la localidad de Aco.	Se restablece el servicio, y se apertura el secc. I404011.	Interruptor
Falla	Sobrecarga	A4502- A4502 / ALIMENTA	A4502- A4502 / ALIMENTA	RST – Trifásica	31/05/2018 18:04	31/05/2018 19:25:00	1:21:00	1.82	Interrupción de suministro eléctrico por	Se realiza el cierre del recloser y se	Recloser

Motivo	Submotivo	Nombre elemento eléctrico	Nombre elemento eléctrico origen	Fase interrumpida	Fecha interrupción	Fecha reposición	Tiempo total	Potencia medida MW	Observación	Medida correctiva	Protección que se activo
		DOR 2 - CONCEPCIÓN	DOR 2 - CONCEPCIÓN						desconexión del recloser secc. en 13.2 kV actúa protección de sobrecorriente, motivo sobrecarga en recloser instalado por la empresa OBRITEC ubicado en Carretera Central Frente a la fábrica de colchones.	restablece el servicio a los sectores afectados.	
Falla	Sobrecarga	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	RST – Trifásica	21/08/2018 19:00	21/08/2018 19:44:00	0:43:44	1.91	Interrupción del suministro eléctrico por desconexión automática de interruptor en 13.2kV, debido a falla de sobrecorriente fases R y S originado por maniobra de reconexión secc. I404029 CC San Pedro de Saños.	Se restablece alimentador desconectado secc. I404029; a 19:25:10 horas se restablece servicio secc. I404029 quedan desconectados secc. I404007 y secc. I404008 Quilcas, se restablece secc. I404007 a 20:22 horas y secc. I404008 a	Interruptor

Motivo	Submotivo	Nombre elemento eléctrico	Nombre elemento eléctrico origen	Fase interrumpida	Fecha interrupción	Fecha reposición	Tiempo total	Potencia medida MW	Observación	Medida correctiva	Protección que se activo
										20:49 horas, servicio al 100%.	
Falla	De coordinación de protección	A4502-A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	A4502-A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	RST – Trifásica	22/08/2018 19:04	22/08/2018 19:50:39	0:46:27	2.2	Interrupción del suministro eléctrico de San Jerónimo, Quilcas, Hualhuas, San Pedro de Saño, San Agustín de Cajas y alrededores, por desconexión del interruptor en 13.2 kV, falla entre las fases R-S-T, debido desbalance de carga.	Se restablece el servicio al 100%.	Interruptor
Falla	De coordinación de protección	A4502-A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	A4502-A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	RST – Trifásica	22/08/2018 19:53	22/08/2018 20:42:10	0:48:59	1.96	Interrupción el suministro eléctrico de San Jerónimo, Quilcas, Hualhuas, San Pedro de Saño, San Agustín de Cajas y alrededores, por desconexión del interruptor en 13.2 kV, falla temporizado entre fases R-S-T	A las 20:42:10 horas se restablece alimentador para descartar falla y se desconecta Secc. I404029.	Interruptor

Motivo	Submotivo	Nombre elemento eléctrico	Nombre elemento eléctrico origen	Fase interrumpida	Fecha interrupción	Fecha reposición	Tiempo total	Potencia medida MW	Observación	Medida correctiva	Protección que se activo
Falla	Sobrecarga	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCI ÓN	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCI ÓN	RST – Trifásica	23/08/2018 18:48	23/08/2018 19:24:23	0:36:22	2.14	Interrupción de suministro eléctrico por desconexión del interruptor en 13.2 kV, falla fases R-S -T a tierra, motivo desbalance de carga.	Se restablece el servicio.	Interruptor
Falla	Avería en equipo de protección y/o maniobra	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCI ÓN	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCI ÓN	RST – Trifásica	12/11/2018 7:13	12/11/2018 07:31:05	0:18:05	1.11	Interrupción de suministro eléctrico por fatiga fusión fusible de 140 A, fases R Secc. I404001 derivación a la Huaycha a las 01:50:00 horas, motivo por desbalance de carga desconecta el alimentador.	Se restablece el servicio con baja carga en la fase R. a las 08:28 horas restablece al 100%.	Interruptor
Falla	Sobrecarga	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCI ÓN	A4502- A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCI ÓN	RST – Trifásica	15/11/2018 14:31	15/11/2018 14:35:57	0:04:23	1.5	Se interrumpe el suministro eléctrico en las localidades de San Jerónimo, Quilcas, San Pedro de Saño, Hualhuas, San Agustín de Cajas, Mito y zonas aledañas. por	Se realiza las maniobras y se deja con servicio normal	Interruptor

Motivo	Submotivo	Nombre elemento eléctrico	Nombre elemento eléctrico origen	Fase interrumpida	Fecha interrupción	Fecha reposición	Tiempo total	Potencia medida MW	Observación	Medida correctiva	Protección que se activo
									desconexión del interruptor en 13.2 kV, al operar la protección de sobrecorriente fase S a tierra. La Interrupción fue por causa de rozamiento de brazo hidráulico de una retroexcavador a tipo oruga con la fase S de la línea MT 13.2 KV, en la Huaycha (altura de Galletera Mary, Informó el Ing. Juan Carlos Martinez		

Motivo	Submotivo	Nombre elemento eléctrico	Nombre elemento eléctrico origen	Fase interrumpida	Fecha interrupción	Fecha reposición	Tiempo total	Potencia medida MW	Observación	Medida correctiva	Protección que se activo
Falla	Descarga atmosférica	A4502-A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	A4502-A4502 / ALIMENTA DOR 2 - CONCEPCIÓN	RST – Trifásica	02/12/2018 14:58	02/12/2018 15:02:10	0:04:01	1.36	Interrupción de suministro eléctrico afectando las localidades de San Jerónimo Quilacas San Pedro de Saño, Hualhuas San Agustín de Cajas Mito y zonas aledañas, por desconexión del interruptor en 13.2 kV, falla entre fases R-S ,	Se hace maniobras y se repone el motivo que fue fuertes vientos por la zona, ocasionan acercamiento de fases.	Interruptor

Nota: Tomada de “Reportes de Fallas”, por Electrocentro SA.

4.2. Propuesta de relé digital multifuncional para la protección del Alimentador A4502

Considerando las fallas que se producen en el Alimentador A4502 de la SET Concepción (Unidad Valle del Mantaro) corresponden a relevadores electromecánicos se requiere de relevadores que aseguren la calidad del servicio eléctrico, frente a ello surge la propuesta de incorporar relevadores digitales multifuncionales.

4.2.1. Características del relé digital

Los relevadores de protección con microprocesadores, también llamados relevadores digitales o relevadores numéricos, están siendo ampliamente aceptados en el ámbito de la protección de sistemas eléctricos de potencia. Esta tendencia está motivada por el hecho de que los relevadores digitales son dispositivos con múltiples capacidades que realizan funciones de protección, medición, control y supervisión.

La capacidad de comunicación de los relevadores digitales hace posible que interactúen con otros relevadores, o con estaciones de monitoreo y control en forma local o remota. Por lo tanto, se tiene una supervisión continua y una mayor cantidad de información de un sistema de potencia al usar relevadores digitales. Estas y otras características de los relevadores de protección digitales los convierten en una pieza fundamental dentro de la estructura de automatización y control de los sistemas de potencia.

4.2.2. Potencialidades del relé digital

Los relés digitales cumplen con las exigencias del sistema, ya que forman parte de una nueva generación de relés multifuncionales de gran avance en

tecnología numérica óptimos para hacer frente a disímiles aplicaciones y circunstancias.

El relé de alimentador, así como cada tipo de relé, ha sido diseñado para proporcionar protección a líneas aéreas y cables subterráneos, desde niveles de tensión de distribución hasta niveles de tensión de transmisión. Tiene la capacidad de compatibilidad con otros productos, además de reunir indispensables funciones de protección, medición, control y monitoreo, unido a la precisión y velocidad que les brinda el procesamiento digital de señales.

Las funciones de protección resultan de mayor interés para el caso en cuestión, pues estos relés cuentan con una gran diversidad de funciones aplicables a sistemas disímiles son las siguientes:

- Sobre corriente de fase 50/51P
- Sobre corriente de tierra 50/51N (FT)
- Direccional de fase 67P
- Direccional de tierra 67N (FTD)
- Sobre corriente de secuencia negativa 46 (SFI)
- Sobre/Baja tensión 59/27
- Falla del interruptor 50BF
- Sobre corriente controlada por tensión (51 V)
- Auto reenganche 79 (4 ciclo de auto reenganche de tres polos)
- Conductor roto 46BC



4.2.3. Equipos de protección digitales


Schweitzer Engineering Laboratories (SEL) es una empresa dedicada a la protección de los sistemas de potencia, construye relés basados en el



microprocesador. En la actualidad, SEL es líder en relés de protección con detección de fallas de alta velocidad, segura y confiable; localización de falla exacta; y extensas funciones de automatización y control.

Los aparatos de las subestaciones son activos valiosos en los sistemas de distribución de energía. Además, SEL cuenta con los equipos apropiados que mejor se adapten a los requerimientos de aplicación de cada sistema para la protección de transformadores, barras, interruptores y bancos de capacitores shunt.

Tabla 3. Equipos para protección de subestaciones eléctricas

Equipo	Imagen	Descripción	Precio
Relé de protección de transformador SEL-487E		Ofrece hasta cinco entradas con retención trifásica, tres elementos de protección de falla restringida a tierra (REF) independientes y dos entradas de voltaje trifásico, todas con sincrofasores. Limita el daño al transformador al responder a las condiciones de falla interna en menos de 1.5 ciclos. Ayuda a evitar fallas catastróficas de transformador mediante la detección de fallas entre espiras que impliquen tan solo dos por ciento del devanado total. La supervisión del desgaste del interruptor reduce el mantenimiento ineficiente y costoso, lo cual ahorra tiempo y dinero.	US\$ 6750.00
Relé diferencial de corriente y sobrecorriente SEL-387		El relé diferencial de corriente y sobrecorriente SEL-387 proporciona protección, control y medición de transformadores, barras, interruptores y alimentadores. Incluye cuatro entradas de corriente trifásica con protección independiente de diferencial con restricción y sin restricción, características programables de diferencial de pendiente unitaria o dual,	US\$ 5250.00

Equipo	Imagen	Descripción	Precio
		supervisor de interruptor, supervisor de voltaje del banco de baterías y ecuaciones de control SELogic mejoradas. Protección sensible de diferencial de corriente, con restricción programable de porcentaje de pendiente unitaria o dual, supervisada por una elección de elementos de restricción o bloqueo de la segunda y cuarta armónica, además de elementos de bloqueo de la quinta armónica y cd para una protección segura de hasta cuatro devanados.	
Relé de protección de transformador SEL-787		Cuenta con dos entradas de devanado trifásico, una entrada de falla de tierra restringida (REF) monofásica opcional y entradas de voltaje trifásico para obtener una extensa protección del transformador. Entre los beneficios se incluyen automatización y flexibilidad avanzadas; puertos de comunicaciones ethernet de cobre o fibra, unitarios o duales; datos de administración de activos; y modernización fácil de la mayoría de los relés electromecánicos. Aplica protección diferencial de dos devanados de pendiente dual con elementos de sobrecorriente de fase, secuencia negativa, residual y de neutro para protección de respaldo. Utilice protección contra falla de interruptor para dos interruptores tripolares.	US\$ 2950.00

Equipo	Imagen	Descripción	Precio
Relé de protección de transformador SEL-787-3E/-3S/-4X		<p>Incluye automatización y flexibilidad avanzada; datos de administración de activos; y modernización fácil de la mayoría de los relés electromecánicos. La opción de la pantalla permite ajustar, supervisar y controlar directamente el sistema desde el panel frontal.</p> <p>Los modelos SEL-787-2E/-21/-2X ofrecen la protección diferencial de dos devanados, y los modelos SEL-787-3E/-3S ofrecen la protección diferencial de tres devanados. El modelo SEL-787-4X para la protección diferencial de cuatro devanados basada en la corriente.</p>	US\$ 4950.00
Relé diferencial de barras y de falla de interruptor SEL-487B		<p>Proporciona una detección optimizada de falla de diferencial de barra de baja impedancia mediante el uso de protección de subciclo de alta velocidad, junto con una operación de alta seguridad para fallas externas. El desempeño superior de protección se combina con funciones integradas de automatización de estación para una transición eficiente a aplicaciones nuevas y de modernización. La tecnología opcional de enlace de dominio del tiempo (TiDL) y la tecnología SEL Sampled Values (SV) es compatible con la norma IEC 61850-9-2.</p>	US\$ 6830.00

Nota: Adaptado de SEL-Schweitzer Engineering, 2019

4.3. Pruebas de hipótesis

Para la prueba de hipótesis se procedió a recopilar información y data histórica respecto al Alimentador A4502 de la SET Concepción de manera que

pueda realizar la inferencia estadística para el proceso de la prueba de hipótesis asociadas a la investigación.

Tabla 4. Datos del Alimentador A4502 de la SET Concepción

Mes	Protección del sistema eléctrico de distribución				Calidad del del producto del servicio eléctrico de energía			
	Nivel de protección (Cantidad de reajustes)	Selectividad de equipo (Nro) 1/	Tiempo de actuación del equipo (s)	Graduación de tiempo (s)	Tiempo total entre fallas (Hrs)	Nivel de seguridad y calidad 2/	Duración promedio de interrupción (s)	Estabilidad de la frecuencia (Hz)
Ene	1	1	5	8	2	0	66	59.4
Feb	1	1	8	8	1	1	40	59.2
Mar	2	1	11	11	2	2	51	60
Abr	0	1	0	10	1	0	35	58.3
May	2	1	9	8	1	1	38	59.2
Jun	2	2	12	14	1	2	53	59.1
Jul	0	0	2	6	1	0	42	58
Ago	1	0	5	12	2	1	51	59.3
Set	1	0	2	6	0	1	33	58
Oct	1	1	7	9	1	1	50	58.7
Nov	1	0	0	7	1	1	32	58.6
Dic	1	0	11	12	1	1	37	59.2

1/ Selectividad de equipo: 0=sin selectividad; 1=Selectividad parcial; 3=Selectividad total

3/ Nivel de protección: 0=Baja; 1=Media; 2= Alta

Nota: Tomado de Electrocentro SA

Para el proceso de la prueba de hipótesis se ha procedido de la siguiente manera:

- i. Verificación de la normalidad de los datos que serán sometidos a prueba, aplicando los estadísticos de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk.
- ii. Identificación de la prueba a usarse en la validación de la hipótesis, en caso de ser paramétricas o no paramétricas.
- iii. Se ha definido que el nivel de significancia al 5%, el cual es apto para las ciencias administrativas y contables.
- iv. Estimación de los estadísticos de la prueba de hipótesis.
- v. Conclusión de los resultados encontrados.

Según lo definido se procede a verificar la normalidad de los datos según las variables de investigación.

Tabla 5. Prueba de normalidad de la variable protección del sistema y sus indicadores

Indicador / Variable	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Nivel de protección (Cantidad de reajustes)	.236	12	.000	.808	12	.000
Asociación de equipos (Cantidad de equipos asociados)	.261	12	.000	.804	12	.000
Tiempo de actuación del equipo (s)	.301	12	.000	.767	12	.000
Graduación de tiempo (s)	.223	12	.000	.806	12	.000

Nota: Adaptado de Electrocentro SA

Los resultados de la significancia de los estadísticos Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk (

Tabla), arrojan valores menores al nivel de significancia, por lo que los datos no se distribuyen como una normal. Esto se observa en cada uno de los indicadores de la variable protección del sistema

De igual manera se ha verificado la normalidad de los datos de la variable calidad del producto del servicio de energía, cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 5. Prueba de normalidad de la variable calidad del producto del servicio eléctrico y sus indicadores

Indicador / Variable	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tiempo promedio entre fallas (Hrs)	.251	243	.000	.792	243	.000
Nivel de seguridad y calidad	.279	243	.000	.794	243	.000
Duración de interrupción	.271	243	.000	.795	243	.000

Estabilidad de la frecuencia (Hz)	.343	243	.000	.683	243	.000
--	------	-----	------	------	-----	------

Nota: Adaptado de Electrocentro SA

Evaluando la significancia de los estadísticos Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, se obtiene que los datos no se distribuyen como una normal, pues su valor resulta menor al nivel de significancia (5%). Teniendo en cuenta estos resultados se concluye que es necesario aplicar pruebas no paramétricas para la validación de la hipótesis.

Para el proceso de la prueba de hipótesis se ha considerado usar una prueba no paramétrica, la cual se denomina prueba de independencia mediante el estadístico Chi Cuadrado (χ^2). Asimismo, esta prueba cuenta con las condiciones de medir la influencia, asociado a la dependencia entre las variables de investigación.

4.3.1. Hipótesis general

La hipótesis general formulada establece lo siguiente: La protección del sistema eléctrico de distribución afecta positivamente en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro.

A partir de la hipótesis de investigación se han planteado las siguientes hipótesis estadísticas:

H0: La protección del sistema eléctrico de distribución no afecta positivamente en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro.

$$H0: \chi_k^2 \leq \chi_0^2$$

H1: La protección del sistema eléctrico de distribución afecta positivamente en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro.

$$H1: \chi_k^2 > \chi_0^2$$

En base a las hipótesis estadísticas planteadas se procede a estimar el estadístico Chi Cuadrado según la prueba de independencia.

Tabla 6. Prueba de la hipótesis general mediante el estadístico Chi Cuadrado

Estadístico	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	198.794	2	.000
Razón de verosimilitudes	231.517	2	.000
Asociación lineal por lineal	150.073	1	.000
N de casos válidos	243		

La Tabla 6 señala que la significancia asintótica del estadístico Chi Cuadrado de Pearson (0.000) es menor que la significancia estadística (0.05), por lo que se rechaza la hipótesis nula. Es así como se concluye que, al 5% de significancia, La protección del sistema eléctrico de distribución afecta positivamente en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro.

4.3.2. Hipótesis Específica 1

La primera hipótesis específica indica lo siguiente: La protección del sistema eléctrico de distribución del Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro reduce la cantidad de fallos.

Es así como, de acuerdo con las hipótesis de investigación se han planteado las siguientes hipótesis estadísticas:

H0: La protección del sistema eléctrico de distribución del Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro no reduce la cantidad de fallos.

$$H0: \chi_k^2 \leq \chi_0^2$$

H1: La protección del sistema eléctrico de distribución del Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro reduce la cantidad de fallos.

$$H1: \chi_k^2 > \chi_0^2$$

Tabla 7. Prueba de la primera hipótesis específica mediante el estadístico Chi Cuadrado

Estadístico	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	163.382	2	.000
Razón de verosimilitudes	171.230	2	.000
Asociación lineal por lineal	123.651	1	.000
N de casos válidos	243		

En la Tabla 7 se observa que la significancia asintótica del estadístico Chi Cuadrado de Pearson (0.000) resulta menor a la significancia estadística (0.05), es así que se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que, al 5% de significancia, la protección del sistema eléctrico de distribución del Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro reduce la cantidad de fallos.

4.3.3. Hipótesis Específica 2

La segunda y última hipótesis específica detalla lo siguiente: La calidad de frecuencia del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro se ha mantenido en el estándar de tolerancia de las variaciones sostenidas de $\pm 0.6\%$ establecido por el Organismo Supervisor de Energía y Minas (Osinergmin) durante el 2018.

De acuerdo con la hipótesis de investigación se han formulado las siguientes hipótesis estadísticas:

H0: La calidad de frecuencia del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro no se ha mantenido en el estándar de tolerancia de las variaciones sostenidas de $\pm 0.6\%$ establecido por el Organismo Supervisor de Energía y Minas (OSINERGMIN) durante el 2018.

$$H0: |\mu| > 0.6\%$$

H1: La calidad de frecuencia del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro se ha mantenido en el estándar de tolerancia de las variaciones sostenidas de $\pm 0.6\%$ establecido por el Organismo Supervisor de Energía y Minas (OSINERGMIN) durante el 2018.

$$H1: |\mu| \leq 0.6\%$$

Tabla 8. Prueba de la segunda hipótesis específica mediante el estadístico t de Student

Variable	Valor de prueba = 0.006					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Frecuencia Variaciones	-1.986	11	0.043	- 0.005908 3	- 0.01245 7	0.00064 0

sostenidas (%)						
-------------------	--	--	--	--	--	--

La Tabla 8 establece que la significancia bilateral del estadístico t de Student (0.043) es inferior a la significancia estadística (0.05), de manera que se rechaza la hipótesis nula. Basándonos en los resultados, al 5% de significancia, se concluye que la calidad de frecuencia del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro se ha mantenido en el estándar de tolerancia de las variaciones sostenidas de $\pm 0.6\%$ establecido por el Organismo Supervisor de Energía y Minas (Osinergmin) durante el 2018.

4.4. Discusión de resultados

Los resultados demuestran que la protección del sistema eléctrico de distribución afecta positivamente en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro, toda vez que en casos de fallas dentro del sistema se activan otros interruptores para asegurar la calidad del servicio de energía.

Diversos estudios han determinado similares resultados, tales como los siguientes: Cuevas y Hernández, quienes concluyeron que, en caso de interrupción del funcionamiento de un sistema eléctrico, las protecciones eléctricas son el método aplicado para descarte de desperfectos en el menor tiempo posible, esto permitirá identificar los patrones electrónicos que facilitaran seleccionar un buen dispositivo de protección (12). Asimismo, Doñez estableció que para la comercialización de la energía los sistemas de distribución son considerados como parte esencial; por ello, es fundamental realizar la ejecución de una adecuada

planeación y diseño ante interrupciones ocasionadas por variaciones aleatorias de las interferencias causadas por fallas naturales o del personal (14). De la misma manera, Socualaya encontró que la disminución y selectividad del equipo frente a las interrupciones que se dieron en el sistema suministró la energía necesaria a la Minera IRL para su continuidad en la extracción y procesamiento del mineral de manera que la protección del sistema representa una actividad obligada para asegurar la calidad del servicio de energía (23).

La protección de los sistemas eléctricos es favorable frente a fallas causadas accidentalmente o naturales, tal como indica la teoría, de manera que trae consigo ventajas como las siguientes: i) seguridad, los requisitos de seguridad garantizan que el equipo tiene unas especificaciones suficientes para admitir la energía máxima disponible en el peor de los casos; ii) protección de equipos, los requisitos de protección se cumplen si los dispositivos de protección contra sobreintensidad se configuran por encima de los niveles de funcionamiento de la carga y por debajo de las curvas de daños en los equipos; y iii) selectividad, los requisitos de selectividad pretenden limitar los fallos del sistema o la respuesta de sobrecarga a una área o zona de impacto específicas, así como limitar la interrupción del servicio a las mismas (12) (37).

Teniendo en cuenta los resultados y los antecedentes revisados se ha determinado la importancia de aplicar la protección en el sistema eléctrico de distribución.

CONCLUSIONES

1. Se ha determinado que la protección del sistema eléctrico de distribución mediante relevadores electromecánicos afecta positivamente en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro toda vez que la prueba de hipótesis resultó ser significativa al 5%. Asimismo, la protección del sistema ofrece ventajas como la seguridad, protección de equipos y selectividad.
2. Asimismo, se ha evaluado que la reducción de fallos generados por la protección del sistema eléctrico de distribución con relevadores electromecánicos del Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro fue significativa al 5% de manera que la cantidad de fallas fueron 16 durante el 2018, pero fueron contrarrestadas rápidamente.
3. Además, la calidad de frecuencia del servicio eléctrico de energía relevadores electromecánicos en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro no se vio afectada significativamente dado que el tiempo promedio entre fallas, la duración de interrupción y la estabilidad de la frecuencia fueron aceptables. Asimismo, los hallazgos mostraron que la calidad de frecuencia del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro se ha mantenido en el estándar de tolerancia de las variaciones sostenidas de $\pm 0.6\%$ establecido por el Organismo Supervisor de Energía y Minas (Osinergmin) durante el 2018.

RECOMENDACIONES

1. La protección del sistema eléctrico de distribución debe ser una práctica que debe implementarse dentro de la planificación de los sistemas de manera que se asegure la calidad del servicio de energía. Además, se recomienda que se implementen relevadores digitales, los cuales están siendo ampliamente aceptados en el ámbito de la protección de sistemas eléctricos de potencia. Los relevadores digitales son dispositivos con múltiples capacidades que realizan funciones de protección, medición, control y supervisión. Asimismo, la capacidad de comunicación de los relevadores digitales hace posible que interactúen con otros relevadores, o con estaciones de monitoreo y control en forma local o remota favoreciendo una supervisión continua y una mayor cantidad de información de un sistema de potencia.
2. Asimismo, se debe planificar adecuadamente los fallos que se generan dentro de una red de distribución de manera que se pueda prevenir y actuar anticipadamente para asegurar la calidad del servicio de energía.
3. Además, la calidad de frecuencia del servicio eléctrico de energía debería ser el objetivo principal para las empresas distribuidoras de manera que prevengan y tomen medidas para el correcto funcionamiento del sistema eléctrico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARRANTES, L. Diseño del sistema de protección y control de subestaciones eléctricas. Leganés: Universidad Carlos III de Madrid, 2011. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11767/LUCIA%20SARAY%20BARRANTES%20PINELA_PRESENTACION%20PFC.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
2. COES/SINAC. *Requisitos mínimos para los Sistemas de Protección del SEIN*. Lima: Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional, 2014. <https://es.scribd.com/document/205478263/Requerimientos-Minimo-de-Equipamiento-para-los-Sistemas-de-Proteccion-SEIN-COES-SINAC>.
3. LEÓN, A. y J. VILLÓN,. Estudio de coordinación de las protecciones eléctricas para la Empresa Eléctrica Península de Santa Elena (EMEPE) año 2001, subestaciones: Sta. Rosa, Libertad, Salinas y Chippie. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2002. Tesis (Título de ingeniero eléctrico).
4. TORRES, J., TORRES, M. y P. TORRES Estrategias efectivas para mejorar la calidad del servicio de energía eléctrica de un sistema de distribución eléctrico., Jorge. 2, Guayaquil: *Revista Científica Yachana*, 2013, Vol. II. ISSN: 1390-7778.
5. OGHENEOVO, D. y HASSAN y A. Kabiru. *Problemas de calidad de energía en sistemas eléctricos*. Cardiff: International Journal of Energy and Power Engineering, 2016, Vol. 5. ISSN: 2326-960X.
6. ELECTROCENTRO SA. *Actualización de coordinación de protección sistema eléctrico Huancayo Valle Mantaro 60/13.2/10kV*. Huancayo: Electrocentro SA, 2007. <https://www.distriluz.com.pe/electrocentro/index.php/servicios>.

7. CARRASCO, S. *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos, 2006. ISBN: 9972-34-242-5.
8. BERNAL, C. *Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Tercera. Bogotá: Pearson Educación, 2010. ISBN: 9789586991285.
9. BAYARRE, H. y R. HOSFORD. *Métodos y técnicas aplicados a la investigación en atención primaria de salud*. Madrid: Documento de cátedra, 2005.
http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-bal/metodos_y_tecnicas_aplicadas_a_la_investigacion_en_atencion_primaria_de_salud.pdf.
10. HOROWITZ, S. y A.PHADKE. *Power System Relaying*. Tercera. New York : John Wiley and Sons Ltd, 2014. ISBN: 9781118662007.
11. DAMMERT, A. y GARCÍA, R. y F. MOLINELLI. *Regulación y supervisión del sector eléctrico*. Lima: Fondo Editorial-Pontificia Universidad Católica del Perú, 2010. ISBN: 9972428661.
12. CUEVAS, A. y J. HERNANDEZ. *Coordinación de protecciones en un sistema de distribución*. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional, 2013. Tesis (Título de ingeniero eléctrico).
13. DÍAZ, A. *Coordinación de los sistemas de protección asociados a la subestación eléctrica 115 kV de CVG Alcasa*. Sartenejas: Universidad Simón de Bolívar, 2012. Tesis (Título de ingeniero eléctrico).
14. DOÑEZ, C. *Selección y análisis de equipo de protección en los sistemas de distribución (23 kV) para proporcionar la acción correcta a la naturaleza de las fallas*.

Ciudad Universitaria: Universidad Autónoma de México, 2015. Tesis (Título de ingeniero eléctrico).

15. MUÑOZ, R. Análisis de suministro eléctrico, mejoras de los índices y niveles de calidad en la distribución de energía eléctrica. Alicante: Universidad Miguel Hernández de Elche, 2015. Tesis (Doctor Ingeniero).

16. BARRANTES, L. Diseño del sistema de Protección y control de subestaciones eléctricas. Leganés: Universidad Carlos III De Madrid, 2011. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11767/LUCIA%20SARAY%20BARRANTES%20PINELA_PRESENTACION%20PFC.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

17. SEGOVIA, E. Coordinación de protecciones en el alimentador de distribución cerro 8. La Habana: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría, 2010. Tesis (Título de ingeniero eléctrico).

18. JARA, J. Optimización de la protección eléctrica de la subestación Tierra Colorada. Piura: Universidad de Piura, 2015. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico Eléctrico).

19. MAQUE, R. Análisis, diagnóstico y propuesta de mejora de calidad de servicio a causa de fallas imprevistas en el suministro eléctrico en el distrito de Macusani-Carabaya. Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2017. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico Electricista).

20. MORALES, D. Protecciones proyecto Chilca-Planicie-Carabayillo-Zapallal 220KV y 500KV: Consideraciones para el ajuste de protecciones en sistemas en extra alta tensión a 500KV en el sistema eléctrico interconectado nacional. Lima : Universidad Nacional De Ingeniería, 2013. Tesis (Título de ingeniero eléctrico).

21. ROQUE, I. Protección y coordinación del sistema eléctrico rural de media tensión en 22,9 KV, para mejorar la calidad del servicio de energía eléctrica del distrito de Ichuña, Provincia General Sánchez Cerro, Región Moquegua, año 2016. Moquegua: Universidad José Carlos Mariátegui, 2018. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico Eléctrico).
22. SOTOMAYOR, S. Análisis del sistema eléctrico, 380/220v, para mejorar la calidad y eficiencia en el local del Senati-Trujillo. Lima : Universidad Cesar Vallejo, 2017. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico Electricista).
23. SOCUALAYA, Y. Influencia de la coordinación de protección en la calidad de suministro del sistema eléctrico del alimentador 7004 de la Minera IRL Chumpe IRL- 2017. Huancayo : Universidad Continental, 2018. Tesis de pregrado.
24. VASSBOTTEN, K. *Protection of Distribution Systems with Distributed Generation*. Norway: Norwegian University of Science and Technology, 2015. <https://core.ac.uk/download/pdf/30876470.pdf>.
25. BARKER, P. y R. DE MELLO. *Determining the impact of distributed generation on power systems*. Seattle : IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. DOI:10.1109.
26. ATTAR, M. y N. SASANI. Solutions to design and coordination relays for protection challenges of distribution network with dg.. 12, Irán: *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 2015, Vol. 4, págs. 118-127. ISSN: 2090-4274.
27. BRAHMA, S. y A. GIRGIS. Development of adaptive protection scheme for distribution systems with high penetration of distributed generation. 1, Iowa : *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2004, Vol. XIX, pp. 56-63. ISSN: 1937-4208.

28. BRAHMA, S. y A. GIRGIS. Effect of distributed generation on protective device coordination in distribution system. Clemson : Large Engineering Systems Conference on Power Engineering. Conference Proceedings. Theme: Powering Beyond 2001, 2001. pp. 115-119. ISBN: 0-7803-7107-0.
29. HOSSEINZADEH, H. *Distribution System Protection*. Ontario : University of Western Ontario, 2008. <https://es.scribd.com/document/332476436/ES586B-Hesam-Hosseinzadeh-250441131-pdf>.
30. GONEN, T. *Electric power distribution system engineering*. New York : CRC Press, 2014. ISBN 9781482207002.
31. BURKE, J. *Hard to Find Information about Distribution Systems*. New York: ABB Inc, 2002.
- <https://library.e.abb.com/public/91ad3a29a50978bf85256c550053db0d/Hard.To.Find.6th.pdf>.
32. GERS, J. y E. HOLMES. *Protection of electricity distribution networks*. Londres: The Institution of Electrical Engineers, 1998. ISBN: 978-0852969236.
33. BURKE, J y D. LAWRENCE. Characteristics of Fault Currents on Distribution Systems. 1, New York: IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1984, Vol. LIII. DOI:10.1109.
34. AHMED, I., ZOBAA, A. y G. TAYLOR, Temas de calidad de 3 MW-driven directa de turbina de viento. s.l.: 50th Conferencia Internacional Universitaria de Ingeniería Eléctrica, 2015. <https://ucontinental.edu.pe/conferencia-de-ingenieria-electrica-y-electronica-10/>.

35. BHONSLE, D. y R. KELKAR Analyzing power quality issues in electric arc furnace by modeling. 1, India : Energy, 2016, Vol. LXV. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.043>.
36. KHALID, S. y B. DWIVEDI. Temas de calidad. 1, s.l.: Revista Internacional de Avances en Ingeniería y Tecnología, 2011, Vol. 1, pp. 1-11. ISSN: 2594-0732.
37. D.S. N° 020-97-EM. *Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos*. Lima: Ministerio de Energía y Minas, 1997. <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/DS-020-97-EM.pdf>.
38. HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y M. BAPTISTA. Metodología de la investigación. México: McGrawHill, 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
39. BERNAL, C. *Metodología de la investigación*. Colombia: Pearson Educación, 2010. ISBN: 978-958-699-128-5.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

Título: PROTECCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN Y SU EFECTO EN LA CALIDAD DE PRODUCTO DEL SERVICIO DE ENERGÍA EN EL ALIMENTADOR A4502 DE LA UNIDAD DEL VALLE DEL MANTARO

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Problema General: <ul style="list-style-type: none"> ¿De qué manera afecta la protección del sistema eléctrico de distribución en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro 	Objetivo General: <ul style="list-style-type: none"> Evaluar el efecto en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía teniendo en cuenta diversos niveles de protección (de 0 a 2 reajustes) del sistema eléctrico de distribución en el Alimentador A4502 de 	Hipótesis General: La protección del sistema eléctrico de distribución afecta positivamente en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro durante el 2018. Hipótesis Específicas: <ul style="list-style-type: none"> La protección del sistema 	Variable independiente : <ul style="list-style-type: none"> Protección del sistema de distribución Variables dependientes: <ul style="list-style-type: none"> Calidad del producto de servicio de energía 	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de Investigación : Aplicada Nivel de Investigación : Explicativo Método General: Analítico Diseño: No experimental explicativo 	La población viene a ser el total de alimentadores dentro del Sistema Eléctrico del Valle de Mantaro. Teniendo en cuenta que los datos se toman a lo largo de los años, se estima una muestra que corresponde a un alimentador, el cual es el Alimentador A4502 de la	Técnicas: Los datos se obtuvieron con el uso de medidores eléctricos y aparatos para establecer los indicadores de fallas y de calidad de energía eléctrica. Es decir, para la variable dependiente e independiente, se utilizaron registros, fichas de observación, control y toma

<p>durante el 2018?</p> <p>Problemas específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es la reducción de fallos generados en los diversos niveles de protección (de 0 a 2 reajustes) del sistema eléctrico de distribución del Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro durante el 2018? ¿Cuál es la calidad de frecuencia del servicio eléctrico de energía en el 	<p>la Unidad del Valle del Mantaro durante el año 2018.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Evaluar la reducción de fallos generados diversos niveles de protección (de 0 a 2 reajustes) del sistema eléctrico de distribución en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro durante el año 2018. Analizar la calidad de frecuencia del servicio eléctrico de 	<p>eléctrico de distribución del Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro reduce la cantidad de fallos durante el 2018.</p> <ul style="list-style-type: none"> La calidad de frecuencia del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro se ha mantenido en el estándar de tolerancia de las variaciones sostenidas de $\pm 0.6\%$ establecido por el Organismo Supervisor de Energía y Minas (Osinergmin) 			<p>Unidad del Valle del Mantaro. El muestreo fue no probabilístico por conveniencia, toda vez que se tomó la información de los datos de todos correspondientes al año 2018 del alimentador en estudio.</p>	<p>de lectura de los medidores del alimentador en estudio.</p> <p>Instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Analizador de redes (análisis y estudio del sistema) -Programa ETAP 12.6. (Curva de coordinación).
---	---	--	--	--	---	---

Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro durante el 2018?	energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro durante el año 2018 de manera que no supere la tolerancia de las variaciones sostenidas de $\pm 0.6\%$.	durante el 2018.				
---	---	------------------	--	--	--	--

Anexo 2. Fotos



Foto 1: Vista de recloser de la subestación de Concepción en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro.



Foto 2: Seccionamientos de derivación en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro.

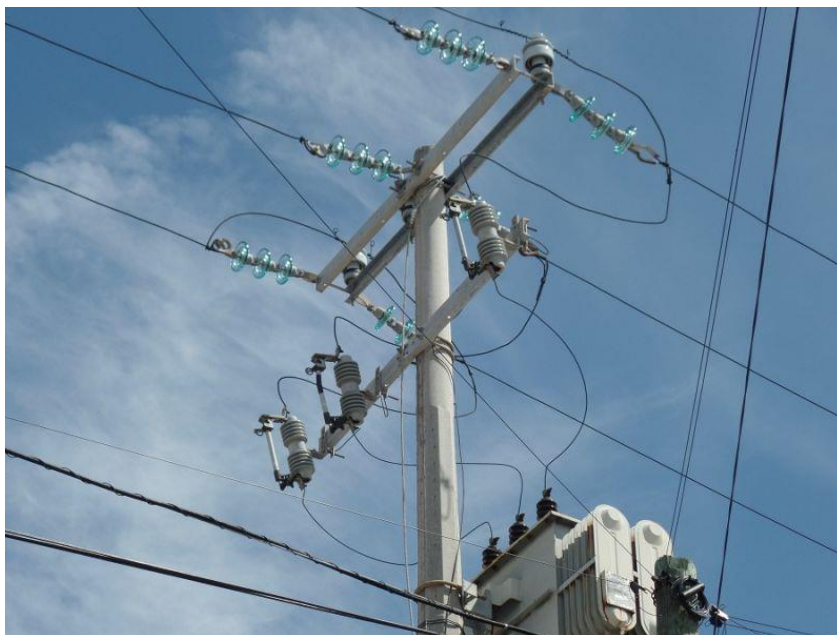


Foto 3: Conexiones del Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro.

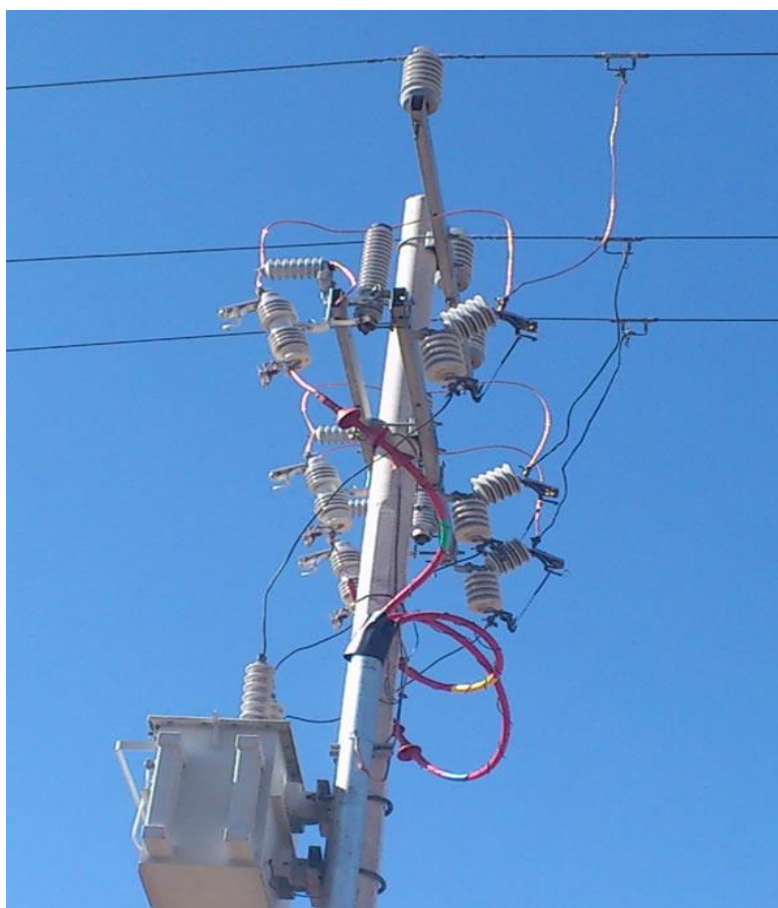


Foto 4: Transformador del Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro.